АКАДЕМИЯ НАУК СССР

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПРОБЛЕМЕ «КИБЕРНЕТИКА»

А. С. ПРЕСМАН

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ЖИВАЯ ПРИРОДА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1968

УДК 538.56 + 576.7

А. С. Пресман. Электромагнитные поля и живая природа

Книга посвящена постановке и обоснованию новой биологической проблемы о существенной роли в живой природе электромагнитных полей инфранизкочастотного, низкочастотного и радиочастотного диапазонов. В основу постановки этой проблемы автором положено предположение о существовании трех видов передачи информации при помощи этих полей в живой природе: из внешней среды в организмы, внутри самих организмов и, наконец, между организмами.

В книге впервые проведен обзор практически всех представляющих научный интерес экспериментальных и теоретических данных о действии электромагнитных полей разных частот на организмы самых различных видов — от одноклеточных до человека, об эффектах таких полей на различных уровнях организации — молекулярном, клеточном, органном и организменном. Рассмотрены возможности использования этих эффектов на практике — в медицине, сельском хозяйстве, биологических исследованиях, в решении некоторых задач бионики и др.

Анализируя экспериментальные данные в разрезе концепции об информационных функциях электромагнитных полей, автор высказывает ряд гипотез по поводу не выясненной еще природы некоторых взаимосвязей внутри живых организмов, о возможных причинах некоторых загадочных пока особенностей в поведении животных и их взаимоотношений в сообществах.

Некоторые положения в книге дискуссионные и безусловно нуждаются в тщательной экспериментальной проверке, что отмечает и сам автор. Библ. 29 стр., иллюстраций 98.

Книга рассчитана на биологов, физиологов, врачей, физиков и биофизиков — как научных работников, так и студентов старших курсов и аспирантов.

Ответственный редактор

академик В. В. ПАРИН

2-10-2
504—67(II)

Светлой памяти
великого естествоиспытателя
ВЛАДИМИРА ИВАНОВИЧА ВЕРНАДСКОГО —
создателя учения о биосфере

ПРЕДИСЛОВИЕ

Большинство физических факторов внешней среды, во взаимодействии с которыми эволюционировала живая природа, имеет электромагнитную природу. Ныне установлено, что на протяжении обозримого геологического периода в биосфере существуют электромагнитные поля и излучения всех известных нам частотных диапазонов — от медленных периодических изменений магнитного и электрического полей Земли до гамма-лучей.

Из общих соображений принципиально возможно, что любой из диапазонов электромагнитного спектра сыграл какую-то роль в эволюции живой природы и принимает участие в процессах жизнедеятельности организмов. Такая возможность уже установлена для значительной области спектра, а именно для электромагнитных излучений в диапазоне от инфракрасного до ультрафиолетового излучения (фотобиология) и от рентгеновых лучей до гамма-квантов (радиобиология).

Иначе обстояло дело с остальной обширной областью спектра, включающей электромагнитные поля (ЭМП) сверхвысоких, ультравысоких, высоких, низких и инфранизких частот. Экспериментальные исследования и теоретические соображения, казалось бы, приводили к заключению, что какое-либо существенное биологическое действие ЭМП возможно только при достаточно высокой их интенсивности и что в основе такого действия может лежать только один процесс — преобразование электромагнитной энергии в тепловую.

Тем временем накапливалось все больше достоверных экспериментальных данных о нетепловых эффектах ЭМП, о чрезвычайно высокой чувствительности к ЭМП живых организмов самых различных видов — от одноклеточных до человека. Были выявлены такие закономерности биологического действия ЭМП, которые явно не укладывались в прокрустово ложе тепловой концепции; наконец, было обнаружено и влияние весьма слабых природных ЭМП на организмы различных видов. Все это указывало на необходимость принципиально нового подхода к проблеме биологического действия ЭМП, на необходимость пересмотра

вопроса о возможной роли ЭМП в жизнедеятельности организмов.

Книга А. С. Пресмана — первая попытка такого подхода к проблеме на основе концепции об информационной роли ЭМП в эволюции и жизнедеятельности организмов. И следует сразу же отметить, что в целом автор успешно справился с этой задачей.

Во введении постулируется существование трех видов «биологической активности ЭМП» — влияние природных ЭМП внешней среды на регуляцию процессов жизнедеятельности, участие внутренних полей организма в координации физиологических процессов и взаимодействие между организмами при помощи ЭМП. Автор убедительно показывает недостаточность рассмотрения только энергетической стороны взаимодействия ЭМП с биологическими системами и намечает пути изучения информационных функций этих полей в живой природе.

В свете этих основных положений в книге подробно рассматриваются физические аспекты взаимодействия ЭМП с биологическими системами, критически анализируются практически все известные данные о биологическом действии искусственно создаваемых и природных ЭМП. Следует отметить, что к этому широкому обзору А. С. Пресман сумел подойти с различных естественнонаучных позиций: биологические эффекты ЭМП он рассматривает и с физической, и с биологической, и с кибернетической точек зрения. Поэтому обобщения и выводы по поводу основных закономерностей биологического действия ЭМП не односторонни и достаточно объективны.

Автор высказывает интересные и часто весьма правдоподобные гипотезы о существенной роли ЭМП в не выясненных пока механизмах некоторых взаимосвязей — внутри организмов, между организмами, организмов с внешней средой.

Конечно, не все положения книги достаточно глубоко разработаны, а некоторые могут быть и спорными. Но это вполне естественно для первой постановки новой биологической проблемы

Концепция автора об информационных функциях ЭМП в живой природе и высказанные по этому поводу гипотезы безусловно вызовут интерес у широкого круга читателей и стимулируют дискуссию по обсуждаемой проблеме. Кроме того, и это немаловажно, книга несомненно будет весьма полезна как первый широкий обзор и анализ экспериментальных и теоретических исследований биологического действия ЭМП, тем более потому, что автор рассматривает не только эвристическую сторону проблемы, но и различные практические ее приложения. Наконец, к достоинствам книги следует отнести доступность изложения для специалистов самых различных областей — биологов и биофизиков, врачей и физиологов, физиков и радиоинженеров.

Академик В. В. ПАРИН

«Из невидимых излучений нам известны пока немногие. Мы едва начинаем сознавать их разнообразие, понимать отрывочность и неполноту наших представлений об окружающем и проникающем нас в биосфере мире излучений, об их основном, с трудом постижимом уму, привыкшему к иным картинам мироздания, значении в окружающих нас процессах»... «Кругом нас, в нас самих, всюду и везде, без перерыва, вечно сменяясь, совпадая и сталкиваясь, идут и з л у ч е н и я *разной длины волны — от волн, длина которых исчисляется десятимиллионными долями миллиметра, до длинных, измеряемых километрами».*

В. И. Вернадский. 1926

ВВЕДЕНИЕ

С тех пор как были написаны эти строки, наука узнала много нового об электромагнитных излучениях, которые на протяжении всей эпохи эволюции живых организмов существуют в среде их обитания — биосфере. Ученые последовательно обнаруживали все новые природные электромагнитные излучения в различных диапазонах электромагнитного спектра. К давно уже изучавшемуся диапазону солнечных излучений — от инфракрасных до ультрафиолетовых лучей — прибавился диапазон ионизирующих излучений (рентгеновых и гамма-лучей) космического и земного происхождения. В остальной, более низкочастотной части электромагнитного спектра, вслед за обнаружением медленных периодических изменений (сезонных, месячных, суточных) магнитного и электрического полей Земли, были открыты короткопериодные колебания магнитного поля Земли с частотами, простирающимися до сотен герц. А изучение атмосферных разрядов показало, что возникающие при этом электромагнитные излучения охватывают широкий диапазон длин волн — от сверхдлинных до ультракоротких; и наконец, были открыты радиоизлучения Солнца и галактик в диапазоне от метровых до миллиметровых волн.

Итак, ныне установлено, что в биосфере постоянно происходят периодические электромагнитные процессы с частотами, распределенными по всему известному нам электромагнитному спектру. Поэтому априорно можно предполагать, что любой участок этого природного электромагнитного спектра сыграл ту или иную роль в эволюции живых организмов, а это так или иначе отразилось на процессах их жизнедеятельности. Можно сказать, что любой участок спектра в той или иной степени биологически

активен. В общем случае представляются вероятными три вида такой активности:

1. Влияние электромагнитных процессов, протекающих во внешней среде, на функционирование живых организмов.

2. Участие в жизнедеятельности организмов электромагнитных процессов, происходящих в них самих.

3. Электромагнитные взаимосвязи между организмами.

Для области спектра, где $h\nu > kT$ (при температурах, свойственных живым организмам), т. е. от инфракрасного диапазона до гамма-лучей, эти виды биологической активности в той или иной степени уже обнаружены. Известно, что фотобиология изучает не только реакции живых организмов на инфракрасные, световые и ультрафиолетовые лучи, но и роль излучений этих диапазонов в процессах, протекающих внутри организмов, и «световые взаимодействия» между организмами. «Радиобиология» изучает пока только биологическое действие рентгеновых и гамма-лучей[1], но открыта уже и так называемая «внутренняя радиация», хотя не выяснена еще ее роль в биологических процессах. А некоторые недавние исследования указывают на возможность и «радиационных взаимодействий» между организмами.

Иначе обстояло дело с остальной обширной областью электромагнитного спектра, где $h\nu < kT$; эта область включает диапазоны от сверхвысокочастотного до инфранизкочастотного, вплоть до «нулевой частоты» (постоянных электрических и магнитных полей). Для удобства изложения мы будем далее называть всю эту область спектра «электромагнитными полями» или ЭМП[2]. В целом проблема биологической активности области ЭМП начала формироваться только в последние годы, хотя исследования отдельных аспектов этой проблемы ведутся уже давно.

С опытов Гальвани в XVIII веке началось развитие электрофизиологии (электробиологии), изучающей реакции живых организмов на электрические раздражения и электрические явления в самих организмах. Применяя принятую нами терминологию, можно сказать, что электрофизиология изучает первый и второй вид биологической активности ЭМП, причем главным образом для низкочастотного диапазона и в основном при контактном приложении (и отведении) электрической энергии. Но Гальвани впервые обнаружил и электрическое воздействие на расстоянии, наблюдая сокращение мышцы в нервно-мышечном препарате лягушки, помещенном на некотором расстоянии от искры электростатической машины. Такие опыты по электрическому раздражению нерва на расстоянии были продолжены только в конце XIX в.

---

[1] Мы не упоминаем здесь корпускулярных видов излучений (α- и β-излучения, поток нейтронов), так как речь идет только об электромагнитных излучениях.

[2] Конечно, такое обозначение условно, так как и вся остальная область спектра — это тоже электромагнитные поля.

Тогда же появились первые сообщения о биологических эффектах магнитного поля и высокочастотных полей. А в 1900—1901 гг. вышла двухтомная монография В. Я. Данилевского, в которой рассматривались экспериментальные и теоретические основы проблемы биологического действия ЭМП — от клеток до целостных организмов.

В 1930—1940-х годах значительный размах получили исследования действия ЭМП высоких и ультравысоких частот на организм человека и животных (Либезни, 1936; Френкель, Татаринов, 1939; Тр. Совещ. по примен. УВЧ в медицине, 1940; Щербак, 1941). Здесь исследователи столкнулись с двумя видами биологических эффектов ЭМП. Явно выражен был тепловой эффект — нагревание тканей организма или биосубстанций in vitro под действием ЭМП довольно высоких интенсивностей; менее определенны были эффекты, которые нельзя было объяснить только за счет нагревания, а также эффекты действия ЭМП малых интенсивностей, когда нагрева тканей еще не отмечалось. Подобные «нетепловые» эффекты (их часто неудачно называли «специфическими») наблюдали главным образом в виде реакций целостных организмов, реже на изолированных органах и почти никогда — в опытах с макромолекулярными растворами in vitro.

Что касается возможной роли естественных ЭМП в живой природе, то она категорически отвергалась по следующим теоретическим соображениям.

Любое возможное влияние ЭМП на биологические объекты, как и на подобные им по электрофизическим свойствам неживые объекты, должно быть обусловлено теми или иными *энергетическими взаимодействиями* ЭМП с веществом, т. е. преобразованием электромагнитной энергии в другие формы, при котором возникающий эффект зависит от величины действующей энергии ЭМП. Но преобразование энергии ЭМП в другие формы в живых тканях может быть связано только с такими же процессами, что и в соответствующих по составу растворах электролитов. В отношении же влияния постоянного магнитного поля живые ткани следует рассматривать как слабомагнитное вещество. Далее, энергии квантов в области ЭМП достаточны только для того, чтобы вызывать в биологических средах колебания заряженных частиц как целого — ионов, дипольных молекул, коллоидных мицелл. С такими процессами и связано единственно возможное взаимодействие ЭМП с биологическими средами, сводящееся к преобразованию электромагнитной энергии в тепловую. Но для возникновения сколько-нибудь биологически значимого теплового эффекта напряженности воздействующих ЭМП должны быть на несколько порядков выше, чем у соответствующих по частоте естественных ЭМП внешней среды. Биологические эффекты постоянного магнитного поля могут быть связаны с ори-

ентацией парамагнитных и диамагнитных молекул. Но такие эффекты возможны только при условии, когда энергия магнитного поля, рассчитанная на молекулу, будет превышать kT. А для этого напряженность поля должна быть по крайней мере в десятки тысяч раз выше, чем у геомагнитного.

Что же касается экспериментальных данных об изменениях физиологических процессов в целостных организмах под действием значительно более слабых ЭМП, то эти данные считали неубедительными по следующим соображениям: во-первых, потому, что подобными изменениями организмы могут реагировать на самые различные внешние воздействия, а следовательно, нет оснований говорить о «специфическом» биологическом действии ЭМП; во-вторых, если бы такое действие существовало, то оно должно было обязательно обнаружиться в опытах с физико-химически однородными средами или, по крайней мере, в опытах с простейшими биологическими системами, но эти попытки не увенчались успехом. К таким заключениям о невозможности биологических эффектов слабых ЭМП пришли физики.

Вопреки этим категорическим заключениям биологи продолжали попытки экспериментально обнаружить биологическое действие ЭМП и постоянного магнитного поля при напряженностях, значительно более низких, чем это следовало из теоретических оценок. И за последнее десятилетие эти попытки привели к успешным результатам, которые давали основания полагать, что естественные ЭМП, по-видимому, нашли свое место в эволюции живой природы и играют существенную роль в жизнедеятельности организмов. Как не вспомнить в связи с этим слова Сент-Дьердьи (1964), что «биолог зависит от суждения физиков, но вместе с тем он должен быть очень осторожен, когда ему говорят, что то или иное событие или явление невероятно».

Биологические исследования показали, что организмы самых различных видов — от одноклеточных до человека — чувствительны к постоянному магнитному полю и ЭМП различных частот при воздействующей энергии на десятки порядков (!) ниже теоретически оцененной. Следовательно, такие оценки, построенные на основе концепции энергетического взаимодействия ЭМП с биологическим веществом, оказались явно несостоятельными. Противоречие с этой концепцией выявилось и в том, что вместо предсказываемой ею пропорциональной зависимости биологических эффектов от интенсивности воздействующих ЭМП экспериментально были установлены совсем иные соотношения. Оказалось, что в одних случаях реакции живых организмов на ЭМП возникают только при некоторых «оптимальных» интенсивностях, в других — эффекты возрастают при уменьшении интенсивности воздействующих ЭМП, в третьих — при малых и больших интенсивностях реакции противоположны по характеру. Наблюдаются и «кумулятивные» биологические эффекты, возникающие

в результате многократно повторяющихся воздействий ЭМП, значительно более слабых, чем пороговые при однократном воздействии. Наконец, концепции энергетического взаимодействия противоречит и тот факт, что при одной и той же средней энергии ЭМП, поглощаемой в тканях организмов, характер реакции существенно зависит от режима модуляции ЭМП, от направления электрического и магнитного векторов ЭМП по отношению к оси тела животного, от локализации воздействия и т. д.

Таким образом, возникла необходимость в принципиально новом теоретическом подходе к проблеме биологической активности ЭМП, который не только не противоречил бы экспериментальным данным, но, наоборот, мог послужить основой для их интерпретации, для выявления соответствующих механизмов. И такой подход намечается на основе теории информации.

Применение этой теории к биологии показало, что наряду с энергетическими взаимодействиями в биологических процессах существенную (если не главную) роль играют *информационные взаимодействия*. Такие взаимодействия характеризуются преобразованием информации, ее передачей, кодированием, хранением. Биологические эффекты, обусловленные этими взаимодействиями, зависят уже не от величины энергии, вносимой в ту или иную систему, а от вносимой в нее информации. Сигнал, несущий информацию, вызывает только перераспределение энергии в самой системе, управляет происходящими в ней процессами. Если чувствительность воспринимающих систем достаточно высока, передача информации может осуществляться при помощи весьма малой энергии. Информация может накапливаться в системе при многократном повторении слабых сигналов.

Информационную сторону взаимодействия ЭМП с биологическими объектами необходимо учитывать даже при рассмотрении таких явно энергетических эффектов, как тепловые. Ведь эти эффекты связаны не только с увеличением кинетической энергии *хаотического* движения молекул, как при обычном нагревании (конвекционном, инфракрасными лучами), но и с *когерентными* колебаниями молекул и ионов с частотой воздействующего ЭМП. А при наличии в биологических системах ориентированных молекулярных слоев и упорядоченных перемещений микрочастиц такой навязанный ритм в общем случае можно рассматривать как внесение в систему «вредной» информации.

Тем более необходим информационный подход к биологическому действию ЭМП весьма слабых интенсивностей, когда какие-либо энергетические эффекты теоретически невозможны. На основе информационных взаимодействий ЭМП с биологическими системами можно объяснить и высокую чувствительность живых организмов к ЭМП, и специфическую зависимость биологических эффектов ЭМП от их интенсивности и модуляционно-временных параметров, и кумулятивный эффект ЭМП.

Правомерно полагать, что все эти особенности реакций живых организмов на ЭМП связаны с какими-то биологическими системами, сформированными в процессе эволюции для восприятия информации из внешней среды. И это предположение находит уже экспериментальные подтверждения. Установлено, что периодические изменения естественных ЭМП внешней среды оказывают регулирующее влияние на функционирование живой природы — на ритмы основных физиологических процессов, на способность животных ориентироваться в пространстве, на процессы размножения в популяциях и т. д. В живом организме системы восприятия информации, передаваемой при помощи ЭМП, надежно защищены от естественных электромагнитных помех, но при патологических состояниях организмов спонтанные изменения ЭМП (при солнечных вспышках, грозовых разрядах) нарушают регуляцию физиологических процессов.

По-видимому, живая природа в процессе эволюции использовала для получения информации об изменениях во внешней среде именно ЭМП. Ведь это самый надежный переносчик информации среди других геофизических факторов: при помощи ЭМП информация может передаваться (на соответствующих частотных диапазонах) в любые среды обитания живых организмов и при любых метеорологических условиях — в течение полярного дня и ночи, в речной и морской воде, в толще земной коры и, наконец, в тканях самих организмов.

Итак, первая форма биологической активности ЭМП — влияние ЭМП внешней среды на функционирование живых организмов — обретает реальные черты в свете данных биологических исследований и их интерпретации на основе концепции об информационных взаимодействиях ЭМП с биологическими системами, сформированными в процессе эволюции.

Получены уже экспериментальные данные, свидетельствующие и в пользу существования второй формы биологической активности ЭМП — их участия в информационных взаимосвязях внутри организма. Это не только известная уже передача информации по нервным путям при помощи биоэлектрических импульсов, частотный спектр которых простирается до тысяч герц, но и дистанционные взаимодействия, осуществляемые посредством ЭМП самых различных частот — от инфранизких до сверхвысоких (далее мы их будем называть ЭМП-взаимодействиями или ЭМП-связями). Они проявляются в электромагнитных взаимосвязях между макромолекулами, в синхронизации электромагнитных колебаний в ансамблях макромолекул и группах клеток и т. д. Есть надежда, что на основе концепции об ЭМП-связях можно будет объяснить загадочную пока природу некоторых давно обнаруженных избирательных взаимодействий между клетками и макромолекулами.

Наконец, имеются уже данные, позволяющие предполагать

существование и третьей формы биологической активности ЭМП — информационных взаимосвязей между организмами. С одной стороны, животные особо чувствительны к ЭМП, параметры которых (частота, интенсивность, характер импульсной модуляции) ограничены в довольно узких пределах; с другой стороны, обнаружено, что живые организмы являются источниками ЭМП различных диапазонов — от инфранизкочастотного до сверхвысокочастотного; наконец, под действием ЭМП у людей возникают определенные ощущения — зрительные, слуховые, тактильные. Концепция об информационных ЭМП-связях в мире животных может оказаться плодотворной в ряде случаев, когда явно наблюдается обмен сигналами между животными, но физическая природа сигнализации пока не выяснена.

Анализ экспериментальных данных, указывающих на проявление этих видов биологической активности ЭМП, приводит к заключению о бесплодности попыток искать причины таких свойств живой природы *только* на молекулярном уровне или отправляясь от рассмотрения тех процессов на этом уровне, которые возникают под действием ЭМП. Наиболее очевидно это выявляется в исследованиях влияния внешних ЭМП на биологические объекты.

Так, установлено, что максимальной чувствительностью к ЭМП обладают целостные организмы, меньшей — изолированные органы и клетки и еще меньшей — растворы макромолекул. Существенные различия наблюдаются в реакции на ЭМП у одной и той же биологической системы (молекулярной, клеточной, органной или системной) в зависимости от того, в каких условиях производится на нее воздействие — когда она находится в целостном организме или в изолированном состоянии. В этих двух случаях отмечается различие и в характере зависимости реакции системы от параметров ЭМП.

Все это указывает на то, что системы, особо чувствительные к ЭМП, по-видимому, сформировались в процессе эволюции только на макроскопическом уровне, по крайней мере начиная от упорядоченных макромолекулярных ансамблей. Иначе говоря, свойство восприятия слабых естественных ЭМП возникает только на уровне достаточно сложно организованных биологических систем, а возможно, что полностью проявляется это свойство только в целостном организме.

Возникновение повышенной чувствительности к ЭМП только у достаточно сложно организованных биологических систем можно рассматривать как одно из проявлений специфической особенности живой природы — ее «организации». Приведем некоторые современные высказывания по этому поводу.

Шмальгаузен (1964) — «...в функциях высшей системы осуществляется не суммирование деятельности низших систем, а их и н т е г р а ц и я. В каждой высшей системе проявляется своя

качественная специфика, которая создается только организацией этой высшей системы».

Сент-Дьерды (1964) — «Одним из основных принципов жизни является «организация»; мы понимаем под этим, что при объединении двух вещей рождается нечто новое, качества которого не аддитивны и не могут быть выражены через качества составляющих его компонент».

Шмитт (1961) говорит об иерархии систем, «...находящихся на разных ступенях организации (молекулярной, макромолекулярной, субклеточной, клеточной, надклеточной, «организмической» и «надорганизмической») и обладающих соответственно различными свойствами». И далее — о «...наличии огромного «черного ящика» между явлениями на молекулярном уровне, изучаемыми в модельной системе, и реальным поведением настоящих клеток или целостного организма».

Иногда указывают, что подобная интеграция имеет место и в неживой природе — в системах элементарных частиц, образующих атомы, и при объединении атомов в молекулы. Но ведь на этих уровнях нет еще никакого различия между неживой и живой материей: атомы и молекулы одинаково организованы в обоих случаях. Различие обнаруживается начиная только с «надмолекулярного» уровня — в специфике организации макромолекул и их ансамблей, в иерархии систем, составляющих живой организм. Здесь-то мы и сталкиваемся с интеграцией свойств, не имеющей аналогии в неживой природе.

Этот экскурс в проблему специфичности живой природы мы сделали потому, что и поныне широко распространен такой подход к изучению биологического действия ЭМП, при котором сначала рассматривают эффекты на молекулярном уровне в физико-химически однородных системах, и лишь затем переходят ко все более сложно организованным структурам; все еще существует скептическое (а чаще негативное) отношение к любым результатам опытов с целостными организмами и даже с изолированными органами. Такие взгляды — результат чрезмерного увлечения несомненно значительными успехами «молекулярной биофизики» и забвения того исторического факта, что изучение взаимодействия живых организмов с любым внешним фактором начиналось с наблюдения реакций целостного организма, а только затем выявлялись системы, участвующие в этих реакциях.

Между тем реальным представляется обратный путь: отправляясь от реакций целостного организма на ЭМП, далее последовательно выяснять, до какого наименее сложного уровня организации можно еще проследить те изменения, которые в конечном счете и обусловливают данную реакцию организма. При этом первопричина этой реакции вовсе не обязательно должна быть связана с процессами на молекулярном уровне — она может быть присуща скорее некоторому макроскопическому уровню органи-

зации. И в этом нет ничего парадоксального — с подобным положением мы сталкиваемся и при рассмотрении технических «организованных» систем, для которых характерно и наличие иерархии упорядоченности, и возникновение новых свойств по мере возрастания сложности[1].

Это можно проиллюстрировать даже на примере такой относительно простой системы, как колебательный контур. Специфическим свойством контура является его особо высокая чувствительность к ЭМП определенной (резонансной) частоты. Конечно, индуцируемые в контуре электромагнитные колебания связаны с микропроцессами — движением электронов в проводниках и поляризацией молекул в диэлектрике конденсатора. Но тщетны будут попытки выявлять на этом уровне механизм резонанса — его там нет. Не обнаружим мы этого свойства и рассматривая процессы в отдельно взятых макроскопических элементах контура — конденсаторе и индукционной катушке. Свойство резонанса присуще только всей организованной системе — контуру в целом.

Таким образом, реальным пока представляется феноменологический подход к изучению систем и процессов, участвующих в реакциях биологических объектов на ЭМП. Мы можем оценивать только закономерные соотношения между «входными» и «выходными» характеристиками системы, т. е. между воздействиями и реакциями. Правомерным представляется моделирование таких систем и процессов при помощи эквивалентных электромагнитных «организованных систем», обладающих соответствующими входными и выходными характеристиками, зависимость между которыми описывается в рамках макроскопических параметров. Таким путем можно, например, подойти к выяснению высокой чувствительности биологических систем к ЭМП, т. е. их способности воспринимать информацию, переносимую ЭМП весьма малой интенсивности (даже ниже уровня шумов).

Из теории информации следует возможность «пространственной суммации» электромагнитных информационных сигналов при их восприятии одновременно n элементами, а также «временно́й суммации» n-кратно повторяемых сигналов. В обоих случаях суммарное отношение сигнала к шумам возрастает в $\sqrt{n}$ раз. Следовательно, при достаточно большом n возможен прием информации при интенсивности сигналов ниже уровня шумов. В технических системах такого рода прием уже осуществлен. Оба типа суммации обнаружены и в живых организмах — в органах зрения для электромагнитных волн света (Глезер, Цукерман, 1961) и в нервных клетках для низкочастотных электромаг-

[1] Возможно, что это результат исторически выявленной закономерности, которую Мак-Каллок (1965) характеризует следующим образом: «Если, однако, исключить источники энергии и колесо, то бо́льшая часть всего созданного человеком носит характер подражания [животным]».

нитных сигналов. Представляется поэтому вероятным существование таких биологических систем и для восприятия ЭМП других частотных диапазонов.

Основные данные о входных и выходных характеристиках биологических систем, чувствительных к ЭМП, получены главным образом при изучении реакций на ЭМП, возникающих в целостном организме. Но искать при этом какие-то специфические реакции — значит «гоняться за призраком»: и на адекватные информационные воздействия ЭМП, и на электромагнитные помехи реакции неспецифичны — такие же реакции могут возникать и под действием других внешних факторов.

Например, регуляция суточной ритмики физиологических процессов осуществляется различными геофизическими факторами, по-видимому, одинаково. Выявить роль периодических ЭМП среды в этой регуляции можно лишь при помощи корреляционного анализа, либо искусственно поддерживая постоянными остальные геофизические факторы, либо исследуя изменения ритма физиологических процессов при искусственно ослабленном воздействии ЭМП внешней среды.

Неспецифичными должны быть и вызываемые электромагнитными помехами нарушения физиологических процессов — изменения их интенсивности, направленности и т. д. Такого же рода нарушения могут возникать и под действием других факторов — механических, химических, биологических и т. п. Ведь нарушение работы любой организованной системы неспецифично в том смысле, что характер его часто не зависит от типа помех. Например, шумы на выходе радиоприемника могут быть одинаковыми и при наличии радиопомех (естественных и искусственных), и при нарушении контактов — механическом или химическом.

Приведенные соображения о подходе к изучению биологического действия ЭМП кажутся справедливыми и в отношении ЭМП-взаимосвязей внутри организма. Ведь взаимодействия между макромолекулами и между клетками, а тем более между более сложными биологическими системами также нельзя по-настоящему понять, не учитывая роли «организации» на всех этих уровнях, не учитывая различия в протекании соответствующих процессов в организме и в изолированных от него системах.

Что касается изучения проблемы ЭМП-взаимосвязей между животными, то здесь могут оказаться недостаточными даже исследования с целостными организмами. Ибо объединения в группах, сообществах, популяциях и биоценозах обладают своими специфическими особенностями, обусловленными «коалицией» (Фёрстер, 1965) — «организацией элементов, которые при объединении способны совершить то, чего каждый из них в отдельности никогда не смог бы достичь». Стало быть, при изучении ЭМП-взаимосвязей в объединениях животных необходимым становится анализ обширного материала, накопленного зоологией,

экологией, этологией. В этом отношении весьма плодотворным может оказаться предложенный В. И. Вернадским (1926) *метод эмпирического обобщения*, которое «...опирается на факты, индуктивным путем собранные, не выходя за их пределы и не заботясь о согласии или несогласии полученного вывода с другими существующими представлениями о природе. В этом отношении эмпирическое обобщение не отличается от научно установленного факта: их совпадение с нашими научными представлениями о природе нас не интересует, их противоречие с ними составляет научное открытие».

* * *

Таковы вкратце те общие соображения и экспериментальные основания, которые привели нас к постановке проблемы о роли ЭМП в живой природе. По существу, в настоящее время наряду со сложившимися ранее областями биологии — фотобиологией и радиобиологией, изучающими биологическую активность электромагнитных излучений от инфракрасных до гамма-лучей,— уже формируется новый раздел биологии, в котором рассматривается биологическая активность остальной области электромагнитного спектра — от сверхвысоких частот до «нулевых» (постоянных полей). Этот раздел, объединяющий широкий круг вопросов, касающихся различных проявлений биологической активности ЭМП, мы предложили ранее (Пресман, 1965а) называть *электромагнитной биологией* (не найдя более подходящего термина).

В основу постановки проблемы положены 1) концепция об *информационных функциях ЭМП* в живой природе на всех уровнях ее иерархической организации и 2) убеждение в том, что изучение этих функций ЭМП следует вести в направлении *от сложных биологических систем и процессов ко все более простым*.

Цель данной книги — обоснование этой концепции и методологии на основе обширного экспериментального материала о многообразных биологических эффектах ЭМП. Мы старались провести такой анализ по возможности объективно, сознавая, однако, что автору определенной концепции трудно избежать пристрастности в оценке рассматриваемых им экспериментальных данных и в построении выводов из них.

В таких случаях особенно ценно мнение беспристрастных ученых о том, в какой мере автор сумел сохранить достаточную объективность в изложении и обосновании своих взглядов. За такую критическую оценку рукописи этой книги, за ценные советы и замечания я глубоко признателен академику В. В. Парину, профессору Л. А. Блюменфельду, профессору П. И. Гуляеву и доценту С. Э. Шнолю.

Часть первая

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕХНИКА ИССЛЕДОВАНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Глава 1

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В табл. 1 представлена рассматриваемая в этой книге область электромагнитного спектра, которую мы условно называем ЭМП. В этой таблице наряду с принятыми в настоящее время обозначениями частотных диапазонов и диапазонов длин волн приведены и ранее употреблявшиеся названия (ВЧ, УВЧ, микроволны), так как они и поныне часто встречаются в работах по исследованиям биологического действия ЭМП; указаны в таблице и величины отношения $h\nu/kT$ для частотных диапазонов рассматриваемой области спектра.

В этой главе приведены характеристики основных параметров природных и искусственных источников ЭМП, представляющих интерес с биологической точки зрения, а также описаны методы количественной оценки этих параметров. Далее рассматриваются электрические и магнитные свойства биологических сред, закономерности поглощения и преобразования энергии ЭМП в тканях живых организмов и, наконец, основные методы экспериментальной техники при биологических исследованиях с ЭМП.

Однако прежде чем перейти к рассмотрению этих вопросов, необходимо хотя бы кратко напомнить об основных чертах электромагнитных явлений, о физических величинах, характеризующих эти явления, о важнейших соотношениях между этими величинами.

1.1. Электрическое и магнитное поля

Электрическое поле, возникающее в окрестности электрически заряженного тела, является векторной величиной. Абсолютную величину этого вектора — силу, с которой поле действует на единичный заряд, помещенный в рассматриваемую точку пространства,— называют *напряженностью электрического поля* E и измеряют в вольтах на метр (*в/м*). За направление вектора

Таблица 1

Область электромагнитного спектра от инфранизких до сверхвысоких чистот, в которой $h\nu < \kappa T$

Диапазоны волн	Низкочастотные волны	Радиоволны				Ультрарадиоволны. Микроволны				
		Длинные	Средние	Промежуточные	Короткие	Метровые	Дециметровые	Сантиметровые	Миллиметровые	Переходные

Длина волны, *см*	10^{13}	10^{12}	10^{11}	10^{10}	10^{9}	10^{8}	10^{7}	10^{6}	10^{5}	10^{4}	10^{3}	10^{2}	10	1	0,1	0,01
Частота, *гц*	$3\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-2}$	$3\cdot10^{-1}$	3	$3\cdot10^{1}$	$3\cdot10^{2}$	$3\cdot10^{3}$	$3\cdot10^{4}$	$3\cdot10^{5}$	$3\cdot10^{6}$	$3\cdot10^{7}$	$3\cdot10^{8}$	$3\cdot10^{9}$	$3\cdot10^{10}$	$3\cdot10^{11}$	$3\cdot10^{12}$
$h\nu/kT$	$4{,}5\cdot10^{-16}$							$4{,}5\cdot10^{-9}$				$4{,}5\cdot10^{-5}$				0,45

Диапазоны частот	Инфранизкие	Низкие	Промышленые	Звуковые	Высокие (ВЧ)	Ультравысокие (УВЧ)	Сверхвысокие (СВЧ)

принимают направление, в котором будет двигаться в этом поле положительный заряд. А траектории движения этого заряда, помещенного в тот или иной участок поля, называют *электрическими силовыми линиями.*

Магнитное поле, возникающее вокруг проводника с током или в окрестности постоянного магнита, также является векторной величиной. *Напряженностью магнитного поля H* называют силу, с которой поле действует на элемент тока, помещенный в рассматриваемую точку. Величину H измеряют в амперах на метр (*а/м*), но часто пользуются и единицей в $\frac{10^3}{4\pi}$ раз большей — эрстедом (*э*). Траектории движения элемента тока (или ориентации элементарного магнитика) в магнитном поле называют *магнитными силовыми линиями.*

1.2. Электрические и магнитные свойства среды

Электрические свойства среды характеризуют двумя величинами:

1) *диэлектрической проницаемостью* — относительной ε' (безразмерной) и абсолютной ε, измеряемой в фарадах на метр (*ф/м*).

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}, \qquad (1)$$

где $\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}$ *ф/м* — абсолютное значение проницаемости для вакуума (и практически для воздуха);

2) *удельной электрической проводимостью* σ, измеряемой в сименсах на метр (*сим/м*) или в 100 раз меньших единицах — *мо/см.* Часто пользуются и обратной величиной — *удельным электрическим сопротивлением* ρ.

Магнитные свойства среды характеризуют также двумя величинами:

1) *магнитной проницаемостью* — относительной μ' (безразмерной) и абсолютной μ, измеряемой в генри на метр (*гн/м*).

$$\mu' = \frac{\mu}{\mu_0}, \qquad (2)$$

где $\mu_0 = 1{,}127 \cdot 10^{-6}$ *гн/м* — абсолютное значение для вакуума (и практически для воздуха);

2) *магнитной проводимостью* g_m, измеряемой в веберах на ампер (*вб/а*), или *магнитным сопротивлением* r_m — величиной, обратной g_m.

1.3. Электромагнитное поле и электромагнитные волны

Всякое изменение электрического поля всегда сопровождается появлением магнитного поля и, наоборот, всякое изменение магнитного поля приводит к появлению электрического поля.

Такие связанные между собой и способные превращаться друг в друга поля называют *электромагнитным полем*, основными параметрами которого являются: *частота* колебаний f (или период $T = \frac{1}{f}$), амплитуда E (или H) и *фаза* φ, определяющая состояние колебательного процесса в каждый момент времни. Частоту выражают числом колебаний в 1 сек. в герцах (*гц*), килогерцах (1 *кгц* = 10^3 *гц*), мегагерцах (1 *Мгц* = 10^6 *гц*) и гигагерцах (1 *Ггц* = 10^9 *гц*). Пользуются и величиной $\omega = 2\pi f$ (так называемая *круговая частота*). Фазу выражают в градусах или относительных единицах, кратных π.

Электромагнитное поле распространяется в виде *электромагнитных волн*, основными параметрами которых являются: *длина волны* λ, *частота* f и *скорость распространения* $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon'\mu'}}$, связанные соотношением:

$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\varepsilon'\mu'}}, \qquad (3)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ *м/сек* — скорость света в вакууме (и практически в воздухе, где $\mu' = \varepsilon' = 1$).

Формирование волны происходит в *волновой зоне* на расстоянии больше λ от источника. В этой зоне E и H изменяются в фазе, а между их средними значениями за период существует соотношение:

$$E = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\, H = 377 \cdot H. \qquad (4)$$

На меньших расстояниях — в *зоне индукции* — E и H изменяются не в фазе и быстро убывают с расстоянием от источника (обратно пропорционально квадрату и кубу соответственно), а соотношения между их средними значениями могут быть любыми. В зоне индукции энергия попеременно переходит то в электрическое, то в магнитное поле. Поэтому здесь раздельно оценивают E и H. В волновой зоне происходит излучение энергии, которое обычно оценивают в величинах *плотности потока мощности* S (вектора Пойнтинга), имеющей размерность *вт/м*^{2} (часто пользуются единицей, в 10^4 раз меньшей — *вт/см*^{2} или в 10^7 раз меньшей — *мвт/см*^{2}):

$$S = E \cdot H. \qquad (5)$$

Направление этого потока определяется по «правилу штопора»: если вращать рукоятку штопора в направлении от вектора E к вектору H (перпендикулярных друг другу в электромагнитной волне), то направление его ввинчивания укажет направление S.

Плотность потока мощности на расстоянии R от источника можно оценить, исходя из величины всей излучаемой мощности P:

$$S = \frac{P}{4\pi R^2}. \tag{6}$$

При направленном излучении эту величину надо умножить на *коэффициент направленности*, определяемый из параметров излучателя.

Различают два наиболее часто встречающихся типа электромагнитных колебаний — *гармонические*, в которых E и H изменяются по закону синуса или косинуса, и *модулированные*, в которых амплитуда, частота или фаза дополнительно изменяются по определенному закону. Соответственно говорят о синусоидальных электромагнитных волнах и модулированных волнах.

При взаимодействии двух (или нескольких) волн происходит явление *интерференции* — усиления или ослабления амплитуды результирующей волны в зависимости от соотношений между фазами, складывающихся в пространстве волн.

Для дальнейшего изложения особый интерес представляет импульсная модуляция, при которой электромагнитные импульсы короткой длительности τ разделены продолжительными паузами. Полоса частот, соответствующая импульсу, имеет значение порядка $1/\tau$, а связь между мощностью в импульсе со средней мощностью выражается соотношением

$$P_{\text{имп}} = \frac{P_{\text{средн.}}}{F \cdot \tau}, \tag{7}$$

где F — частота повторения импульсов (выражаемая в *гц* или в *имп/сек*). Величину $F\tau$ называют *скважностью*.

Если разность фаз между интерферирующими волнами неизменна (по крайней мере за время наблюдения), то говорят об их *когерентности*. В этом случае результирующая интенсивность больше или меньше суммы исходных в зависимости от разности фаз. Если же разность фаз беспорядочно меняется, то волны некогерентны и результирующая средняя интенсивность равна сумме исходных.

Отметим еще одну характеристику волн — *поляризацию*, заключающуюся в том, что направления в пространстве векторов E и H сохраняются неизменными (*линейная поляризация*) или изменяются по определенному закону (*эллиптическая и круговая поляризация*). Плоскость, проведенную через направление распространения волны и направление поляризации, называют *плоскостью поляризации*.

1.4. Взаимодействие ЭМП с физической средой

Нас будут интересовать такие физические среды, которые по своим электрическим и магнитным свойствам приближенно соответствуют тканям живых организмов, а именно растворы электролитов, содержащие белковые молекулы, обладающие слабо диамагнитными или парамагнитными свойствами и электрической полярностью, характеризующейся *дипольным моментом*.

Под действием электростатического поля в таких средах перемещаются «свободные» электрические заряды (электроны, ионы и другие заряженные частицы), происходит поляризация, т. е. смещение «связанных» зарядов (электронов в атомах, атомов в молекулах), и возникает ориентация молекул, обладающих постоянным дипольным моментом (молекул воды и белковых молекул). Магнитостатическое поле вызывает ориентацию диамагнитных и парамагнитных молекул. А на движущиеся электрические заряды оно действует с силой, определяемой уравнением

$$F = qvH, \qquad (8)$$

где q — велична электрического заряда, v — скорость его движения, H — напряженность магнитного поля.

Направление силы F определяется по правилу штопора: при вращении его рукоятки от направления v к направлению H штопор ввинчивается по направлению F.

Под действием переменных ЭМП в рассматриваемой среде будут происходить процессы двух основных типов — колебания свободных зарядов и повороты дипольных молекул в соответствии с частотой изменения ЭМП. Так как среда обладает электрическим сопротивлением и вязкостью, оба эти процесса связаны с потерями энергии ЭМП: в первом случае их называют *потерями проводимости*, а во втором — *диэлектрическими потерями*.

Величина потерь того или другого вида и их доля в общем поглощении энергии ЭМП в среде зависят, во-первых, от ее электрических параметров — удельной электрической проводимости и диэлектрической проницаемости — и, во-вторых, от частоты воздействующих ЭМП.

Соотношение между потерями проводимости и диэлектрическими потерями выражают обычно либо *тангенсом угла потерь* $\text{tg}\delta$, либо *комплексной диэлектрической проницаемостью* ε^*. Эти величины связаны между собой следующими соотношениями:

$$\text{tg}\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon'\varepsilon_0} \qquad (9а)$$

$$\varepsilon^* = (\varepsilon' - j\varepsilon'')\,\varepsilon_0, \qquad (9б)$$

где ε'' — *коэффициент потерь* (или *фактор потерь*) и σ — *активная проводимость*, учитывающая оба вида потерь.

Среду рассматривают как проводящую, если потери проводимости в ней значительно превышают диэлектрические, т. е. когда $\operatorname{tg} \delta \gg 1$; как полупроводящую, когда оба вида потерь примерно одинаковы, т. е. $\operatorname{tg} \delta \cong 1$; и как диэлектрическую, если диэлектрические потери значительно превышают потери проводимости, т. е. $\operatorname{tg} \delta \ll 1$.

Как видно из уравнения (9а), величина $\operatorname{tg} \delta$ зависит от частоты; поэтому одна и та же среда может вести себя как проводящая по отношению к ЭМП одного частотного диапазона, но проявлять свойства полупроводящей при ЭМП другого диапазона и, наконец, диэлектрические свойства по отношению к ЭМП третьего частотного диапазона. Так, например, морская вода (подобная по своему минеральному составу физиологическому раствору) по отношению к ЭМП с частотами ниже 10 *Мгц* ведет себя как проводник ($\operatorname{tg} \delta = 100$), при частотах выше 10 *Ггц* — как диэлектрик ($\operatorname{tg} \delta = 0{,}1$) и в области частот, близких к 1 *Ггц*,— как полупроводящая среда ($\operatorname{tg} \delta = 1$).

Мощность ЭМП, рассеиваемая в проводящей среде на единицу объема, не зависит от частоты и выражается соотношением:

$$P_{\text{п}} = \sigma E^2. \tag{10}$$

Мощность, рассеиваемая в единице объема диэлектрической среды, зависит от частоты, что видно из выражения

$$P_{\text{д}} = \omega \varepsilon' \varepsilon_0 \operatorname{tg}\delta E^2. \tag{11}$$

Кроме того, сама величина ε^* изменяется с частотой (дисперсия), так как любая поляризация связана с переходными *релаксационными процессами*. Это означает, что процессы заряда и разряда происходят не мгновенно, а за некоторое конечное время — *время релаксации* τ, зависящее от структуры поляризующихся элементов, вязкости среды и ее температуры. Возникающая в связи с этим частотная зависимость ε^* выражается следующим образом:

$$\varepsilon' = \varepsilon'_{\infty} + \frac{\varepsilon'_s - \varepsilon'_{\infty}}{1 + (\omega\tau)^2}; \quad \varepsilon'' = \frac{(\varepsilon'_s - \varepsilon'_{\infty})\,\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2};$$
$$\sigma = \sigma_s + \frac{(\sigma_{\infty} - \sigma_s)(\omega\tau)^2}{1 + (\omega\tau)^2}, \tag{12}$$

где индекс s характеризует значения при очень низкой частоте, а индекс ∞ — при очень высоких частотах.

Эти уравнения применимы к трем типам релаксационных процессов. Первый тип — релаксация молекул, обладающих постоянным дипольным моментом, когда уравнения (12) называются уравнениями Дебая, а τ определяется вязкостью среды η,

радиусом молекулы a и абсолютной температурой T:

$$\tau = \frac{4\pi a^3 \eta}{kT}, \tag{13}$$

где k — постоянная Больцмана.

Второй тип релаксации относится к неоднородной структуре — суспензии сферических частиц с диэлектрической проницаемостью ε_i' и проводимостью σ_i, занимающих в растворе (ε_a' и σ_a) долю объема, равную p. В этом случае уравнения (12) называют уравнениями Максвелла — Вагнера при следующих параметрах:

$$\tau = \varepsilon_0 \frac{\varepsilon_i' + 2\varepsilon_a'}{\sigma_i + 2\sigma_a}; \quad \varepsilon_s - \varepsilon_\infty = 9_p \frac{(\varepsilon_i'\sigma_a - \varepsilon_a'\sigma_i)^2}{(\varepsilon_i' - 2\sigma_a)(\sigma_i + 2\sigma_a)^2}. \tag{13а}$$

Третий тип — релаксация, связанная с поляризацией на границах раздела при наличии в окружающей среде, содержащей ионы, частиц различного размера с поверхностными электрическими зарядами. Этому случаю соответствует уже ряд уравнений типа (12) для различных значений τ.

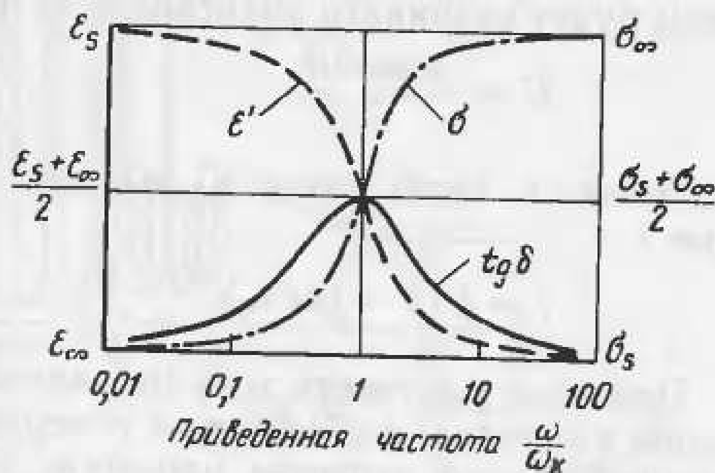


Рис. 1. Зависимость ε', tg δ и σ от частоты

На рис. 1 приведены графики изменения ε', tgδ и σ с частотой для релаксационных механизмов, описываемых уравнением Дебая с одним временем релаксации. Максимум диэлектрических потерь (максимум tgδ) наступает, когда частота ЭМП совпадает с *характеристической частотой релаксации* $\omega_x = 1/\tau$.

Для того чтобы приложить энергию ЭМП к физическому объекту с максимальным линейным размером l, есть два пути (в зависимости от величины отношения l/λ): можно либо поместить объект как нагрузку в элемент сосредоточенной емкости или индуктивности в схеме генератора ЭМП, либо воздействовать на объект электромагнитными волнами.

Если выполняется *условие квазистационарности* $l \ll \lambda$, то воздействие на объект может быть оценено по законам постоянного тока. Рассмотрим это на примере полупроводящего цилиндра с образующей l, большей радиуса R, и площадью кругового сечения S.

Пусть такой объект помещен в электрическое поле между пластинами конденсатора так, что торцы цилиндра параллельны

пластинам и равно удалены от них. Тогда индуцированная в нем сила тока будет выражаться соотношением:

$$I = \frac{V_{цил}}{Z}, \tag{14}$$

где $V_{цил}$ — падение напряжения между торцами цилиндра, а $Z = \frac{l}{S(\sigma - j\omega\varepsilon'\varepsilon_0)}$ — его полное сопротивление.

Падение напряжения на цилиндре составляет только часть от напряжения V_0, приложенного к пластинам конденсатора:

$$V_{цил} = V_0 - \frac{2d}{S\omega\varepsilon_0} I, \tag{15}$$

где d — расстояние от торца цилиндра до пластины конденсатора.

Пусть теперь цилиндр помещен в магнитное поле H внутри соленоида так, что оси соленоида и цилиндра совпадают. Тогда в нем будет возникать вихревое электрическое поле индукции E:

$$E = \frac{\mu'\mu_0\omega RH}{2}; \tag{16}$$

это поле, в свою очередь, вызовет вихревые токи с плотностью i:

$$i = E(\sigma - j\omega\varepsilon'\varepsilon_0). \tag{17}$$

При этом плотность тока не равномерно распределена по сечению цилиндра, а убывает от поверхности к оси. Расстояние от поверхности, на котором плотность тока убывает в e $(= 2{,}71)$ раз, называют *глубиной проникновения;* эта величина вычисляется из соотношения:

$$d = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega\sigma\mu'\mu_0}{2}}}. \tag{18}$$

Если максимальные линейные размеры объекта сравнимы с λ или превышают ее, то следует рассматривать поток мощности электромагнитных волн P_0; частично он отражается от поверхности объекта с *коэффициентом отражения*, равным K:

$$K = \frac{(\sqrt{\varepsilon^*} - 1)^2}{(\sqrt{\varepsilon^*} + 1)^2}, \tag{19}$$

а остальная его часть поглощается по мере проникновения вглубь и на расстоянии x от поверхности выражается соотношением:

$$P_x = P_1 e^{-2\alpha x}, \tag{20}$$

где $P_1 = P_0(1-K)$ — мощность, поглощаемая в объекте, а $\alpha = \omega\sqrt{\frac{\varepsilon}{2}(\sqrt{1+\operatorname{tg}\delta}-1)}$. — *коэффициент поглощения.*

В общем случае задача о поглощении энергии волн в объекте значительно сложнее. Так, недавно было вычислено (Anne et al., 1961) *относительное поглощающее сечение* S — отношение мощности, поглощаемой в полупроводящей (σ, ε') сфере радиуса R, к мощности, падающей на ее поперечное сечение при распростра-

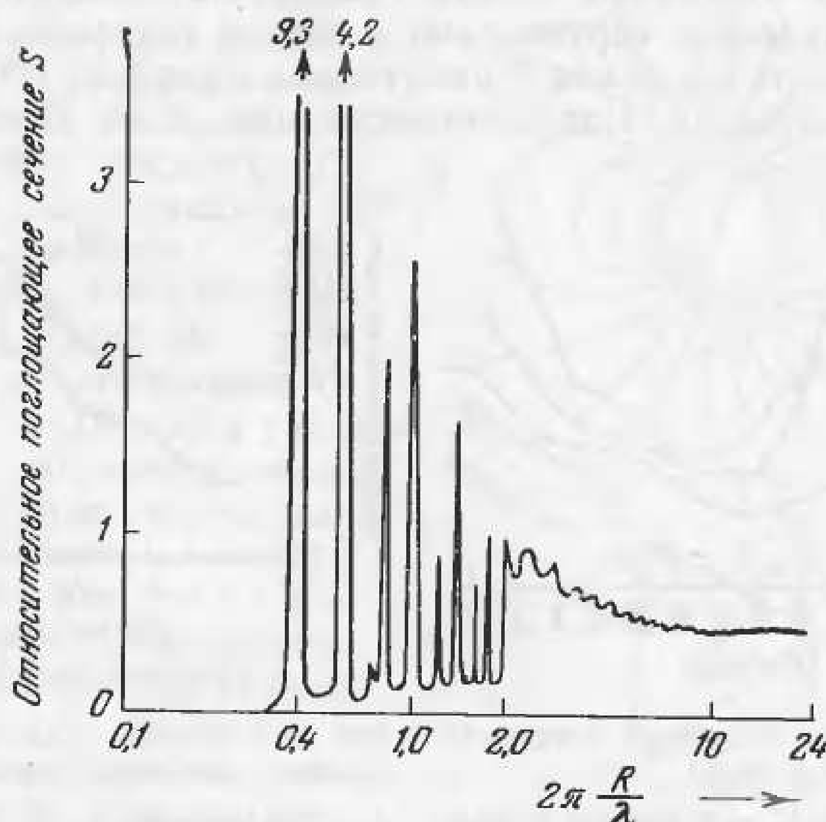


Рис. 2. Поглощение энергии плоской волны ($\lambda = 10{,}4$ *см*) в полупроводящей сфере ($\varepsilon' = 60$, $\sigma = 0{,}1$ *сим/м*) в зависимости от отношения радиуса сферы R к длине волны λ

нении плоской волны в воздухе. Если $R > \lambda$, то $S = 0{,}5 \pm 0{,}1$, т. е. в этом случае поглощается около 50% мощности, приходящейся на поперечное сечение сферы, причем независимо от величины λ и значения σ вещества сферы. Но если $R < \lambda$, то при определенных значениях R/λ (в зависимости от σ и ε' сферы) значение S может быть значительно больше единицы. Эти соотношения иллюстрирует график, приведенный на рис. 2.

Читателя, желающего подробнее ознакомиться с этими вопросами, мы отсылаем к специальной литературе (Калашников, 1956; Тамм, 1957; Ландау и Лифшиц, 1957; Рамо и Уинери, 1948).

Глава 2

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В СРЕДАХ ОБИТАНИЯ ОРГАНИЗМОВ

2.1. Электрическое поле Земли

В атмосфере Земли существует электрическое поле ($E_з$), направленное вертикально к земной поверхности так, что эта поверхность заряжена отрицательно, а верхние слои атмосферы — положительно. Напряженность этого поля зависит от гео-

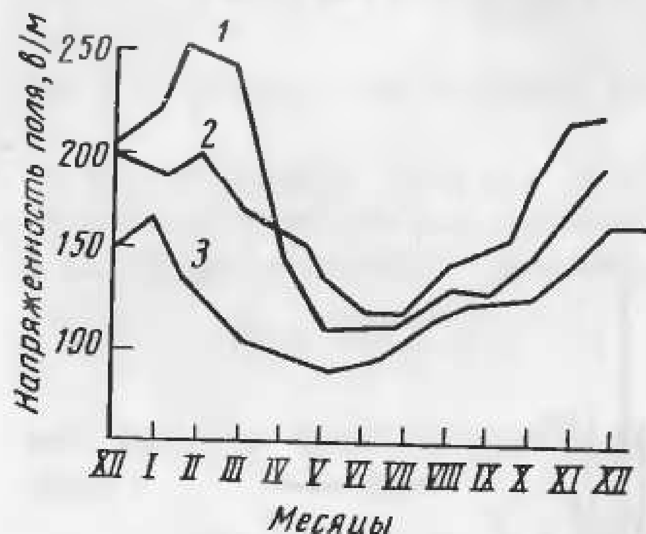


Рис. 3. Годовое изменение электрического поля атмосферы

1 — в Павловске, *2* — в Высокой дубраве, *3* — в Ташкенте

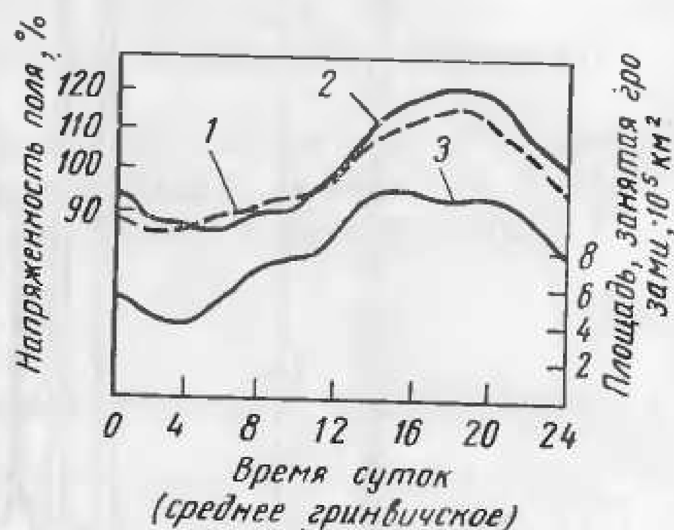


Рис. 4. Суточные изменения электрического поля атмосферы

1 — над океаном, *2* — в полярных областях, *3* — грозовая активность по всей земной поверхности

графической широты: она максимальна в средних широтах, а к экватору и полюсам убывает. Принято считать, что в среднем по Земному шару $E_з = 130$ *в/м*. С увеличением расстояния от поверхности земли $E_з$ убывает примерно по экспоненциальному закону, составляя около 5 *в/м* на высоте 9 *км*.

Величина $E_з$ испытывает периодические годовые и суточные изменения. При этом годовые изменения, как показывает рис. 3 (Аверкиев, 1960; Тверской, 1962), имеют сходный характер по всему Земному шару с максимумом в декабре — феврале и минимумом в мае — июле. Суточные же изменения имеют как общепланетарный, так и местный характер. Над различными по широте областями океана и в полярных областях суточное изменение $E_з$ происходит по единому универсальному времени и называется *унитарной вариацией*. Как видно из графиков рис. 4 (Имянитов и Чубарина, 1961), эта вариация связана с суммарной грозовой

деятельностью по Земному шару, претерпевающей такие же суточные изменения. Над остальными областями суши суточное изменение $E_з$ связано еще и с местной грозовой деятельностью и может значительно варьировать в зависимости от времени года.

2.2. Магнитное поле Земли

Магнитное поле Земли распределено, как показано на рис. 5, *А*. Принято характеризовать это поле четырьмя параметрами (рис. 5, *Б*) — горизонтальной составляющей напряженности (H), вертикальной составляющей Z, углом наклонения I и углом склонения D. Величина H максимальна у магнитного экватора (0,3—0,4 э) и убывает к полюсам до сотых долей эрстеда; вертикальная составляющая Z уменьшается от 0,6—0,7 э у полюсов, почти до нуля у экватора. В областях магнитных аномалий значения Z могут быть намного выше, чем в соседних районах (например, в области Курской магнитной аномалии $Z = 1,0—1,5$ э). А за последнее время открыты и области отрицательных магнитных аномалий, где значение Z может быть на 0,02 э меньше того, которое соответствует данной географической широте.

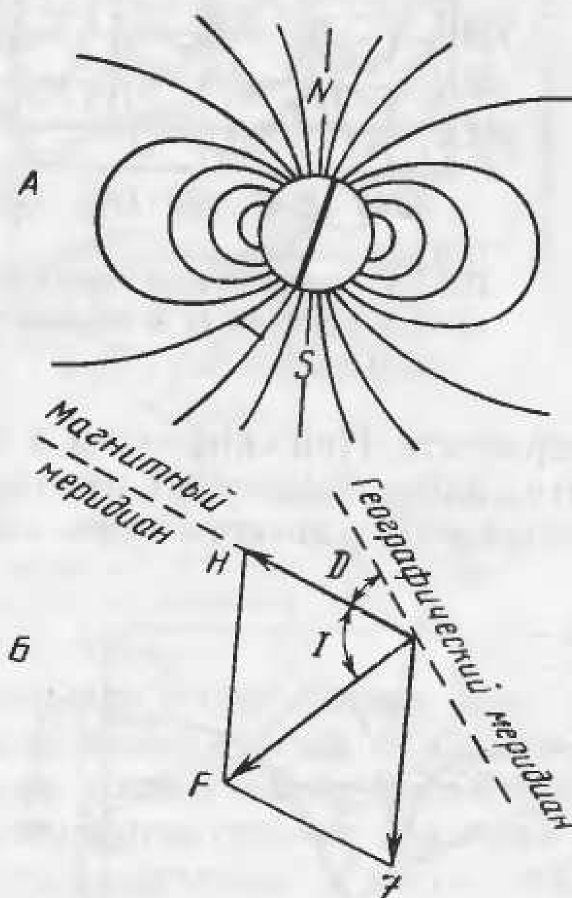


Рис. 5. *А* — силовые линии магнитного поля Земли; *Б* — компоненты магнитного поля: H — горизонтальная составляющая, Z — вертикальная составляющая, D — угол склонения, I — угол наклонения

Элементы земного магнетизма испытывают временные вариации — изменение *магнитной активности*. Эти изменения измеряют в единицах $\gamma = 10^{-5}$ э и оценивают либо по *К-индексам* от 0 до 9 (соответствующим изменению амплитуды напряженности в среднем от 4 до 500γ), либо *u-мерой*, вычисляемой по формуле:

$$u = \frac{0,1\,\Delta H}{\cos\Phi\cos(\psi - D)}, \qquad (21)$$

где ΔH — среднее значение изменения H в единицах γ, Φ — геомагнитная широта, ψ — угол между геомагнитным и географическим меридианом и D — угол склонения.

Вариации, носящие на первый взгляд произвольный характер, получили название *магнитных возмущений*, или (при больших изменениях) *магнитных бурь*. Эти возмущения встречаются в трех формах: *синфазные* — появляющиеся спорадически и протекающие одновременно по всей планете, *локальные* — ограниченные определенной областью у поверхности Земли, и *перманентные* — наблюдаемые непрерывно в некоторых областях земной

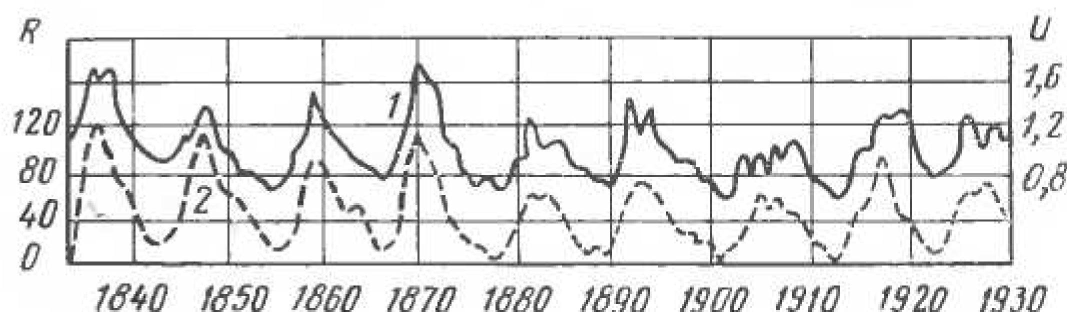


Рис. 6. Связь между средней годовой магнитной активностью U (кривая *1*) и числом солнечных пятен R (кривая *2*)

поверхности. При синфазных и локальных магнитных бурях наиболее сильно возрастает напряженность горизонтальной составляющей геомагнитного поля — до нескольких тысяч γ; при этом,

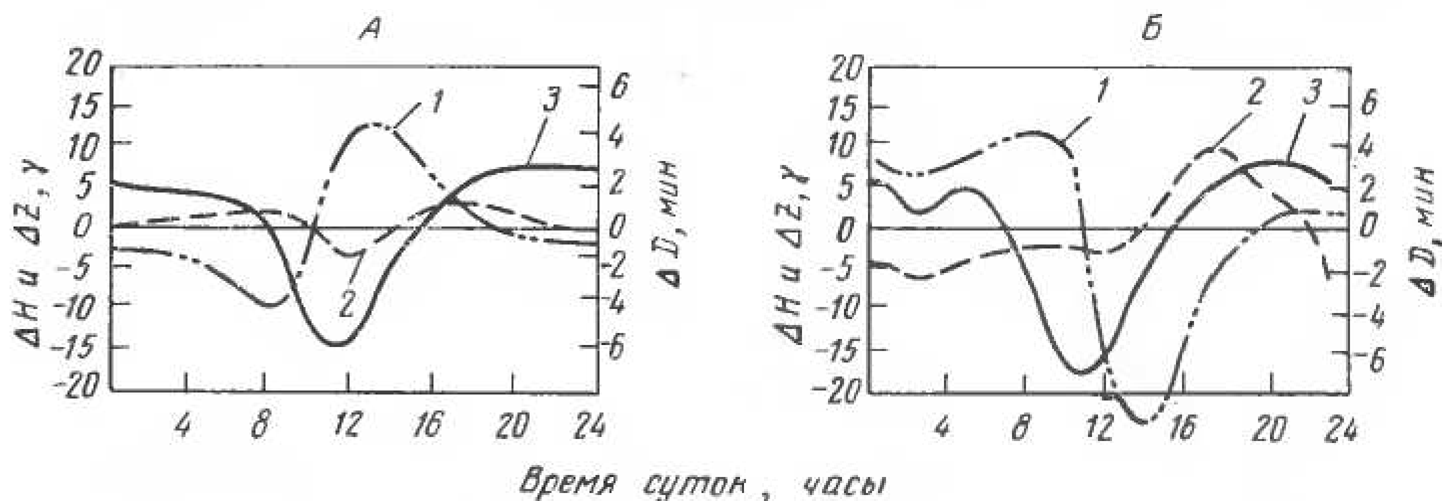


Рис. 7. Среднегодовой суточный ход изменений элементов земного магнетизма в «спокойные» дни на юге Англии (*А*) и в Павловске (*Б*)

1 — ΔD, *2* — ΔZ, *3* — ΔH

если в синфазных изменениях имеются различия только в максимальной амплитуде от места к месту, то локальные различаются еще и по фазе. Перманентные вариации — до сотен γ — наблюдаются непрерывно в течение дня, независимо от общей величины магнитной активности.

Все эти виды магнитной активности являются результатом солнечной активности, связанной как с увеличением числа солнечных пятен, так и со вспышками на Солнце. Поэтому вариации

магнитной активности носят соответствующий периодический характер. Прежде всего, отчетливо проявляется 11-летняя цикличность возрастания магнитной активности в годы максимума солнечных пятен, как это показано на рис. 6. Далее, наблюдается годовая периодичность, причем максимумы магнитной активности наблюдаются в эпохи равноденствия, минимумы — в эпохи солнцестояния, а амплитуды изменений зависят от солнечной активности (рис. 8). Многие слабые магнитные бури повторяются через интервалы в 27 дней, регулярно возобновляясь в течение 6—12 месяцев, что особенно заметно в годы солнечной активности (когда яркие вспышки отсутствуют). Такая периодичность связана с соответствующим периодом вращения Солнца (Яновский, 1964; Эллисон, 1959).

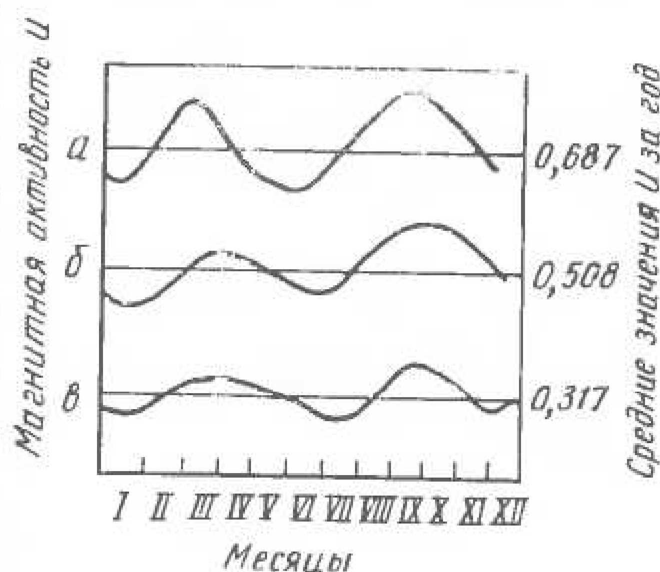


Рис. 8. Среднесуточные значения магнитной активности в годы сильных (*а*), средних (*б*) и слабых (*в*) возмущений

С влиянием Солнца связана и суточная периодичность изменения элементов земного магнетизма. Амплитуды этих изменений варьируют от дня ко дню, но фазы их остаются неизменными. Наибольшая разница между минимумом и максимумом изменений каждого элемента отмечается в весенне-летнее время года и наименьшая — в осенне-зимнее. Отчетливо выражены вариации суточно-периодичных изменений в зависимости от географической широты. На рис. 7 приведены графики суточно-периодичных изменений элементов земного магнетизма на юге Англии (Эллисон, 1959) и в Павловске (Яновский, 1964).

Наконец, имеется группа магнитных возмущений периодического характера, которые называют *короткопериодными колебаниями* (или микропульсациями магнитного поля). Периоды этих колебаний охватывают диапазон от сотых долей секунды до нескольких минут, а амплитуды изменений не превышают нескольких единиц γ. Таким образом, общий частотный спектр периодических изменений геомагнитного поля занимает интервал от 10^{-5} до сотен герц.

2.3. Атмосферики

Атмосфериками называют ЭМП, создаваемые атмосферными разрядами, в частности молниями. Частотный диапазон атмосфериков весьма широк — от сотен герц до десятков мегагерц. Их

интенсивность максимальна на частотах вблизи 10 *кгц* и убывает по мере возрастания частоты (рис. 9). В районах, близких к местам грозовых разрядов, напряженности электрической составляющей ЭМП атмосфериков — порядка десятков, сотен и даже тысяч *в/м* на частотах, близких к 10 *кгц*.

Основными очагами атмосфериков являются континенты тропического пояса — районы Центральной Африки и центральной части Южной Америки, юго-восток США (Флорида), юго-восток Азии. К высоким широтам интенсивность грозовой деятельности убывает.

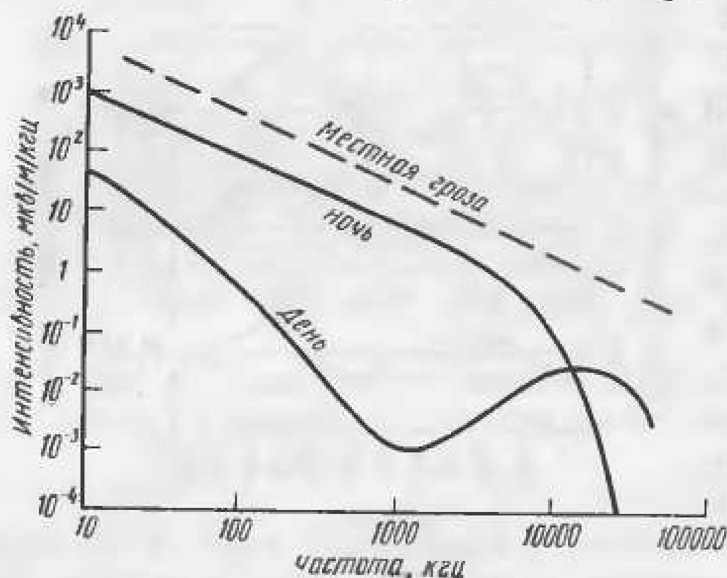


Рис. 9. Средняя интенсивность атмосфериков в зависимости от частоты

Интенсивность грозовой деятельности (оцениваемая по площади, занятой грозами) изменяется с суточной периодичностью. На рис. 10 приведены графики суточного хода грозовой деятельности для всего Земного шара и для отдельных его районов (Тверской, 1962). Из этих графиков видно, что минимум грозовой деятельности всегда и везде отмечается в утренние часы, а общее ее повышение — к ночи. В холодное время года максимум отмечается среди ночи, а в летнее — в 15—18 час.



Рис. 10. Суточные изменения грозовой деятельности по всей земной поверхности (*1*), в Азии и Австралии (*2*), Африке и Европе (*3*) и в Америке (*4*)

Известна и сезонная периодичность грозовой деятельности. Так, в средних широтах северного полушария наибольшее число гроз приходится на летнее время (июнь — июль), а наименьшее — на зимнее.

Наконец, грозовая деятельность связана с солнечной активностью: во время вспышек на Солнце (связанных с солнечными пятнами) атмосферики значительно усиливаются.

2.4. Радиоизлучения Солнца и галактик

Около 20 лет назад были впервые обнаружены радиоизлучения Солнца и галактик. К настоящему времени установлено, что частотный диапазон этих излучений довольно широк — от 10 *Мгц* до 10 *Ггц* (Шкловский, 1953; Чечик, 1953; Эллисон, 1959; Справочник по геофизике, 1965).

На рис. 11 показано распределение интенсивности солнечного радиоизлучения в этом диапазоне в периоды «спокойного» Солнца и «всплески» излучений в периоды «возмущенного» Солнца.

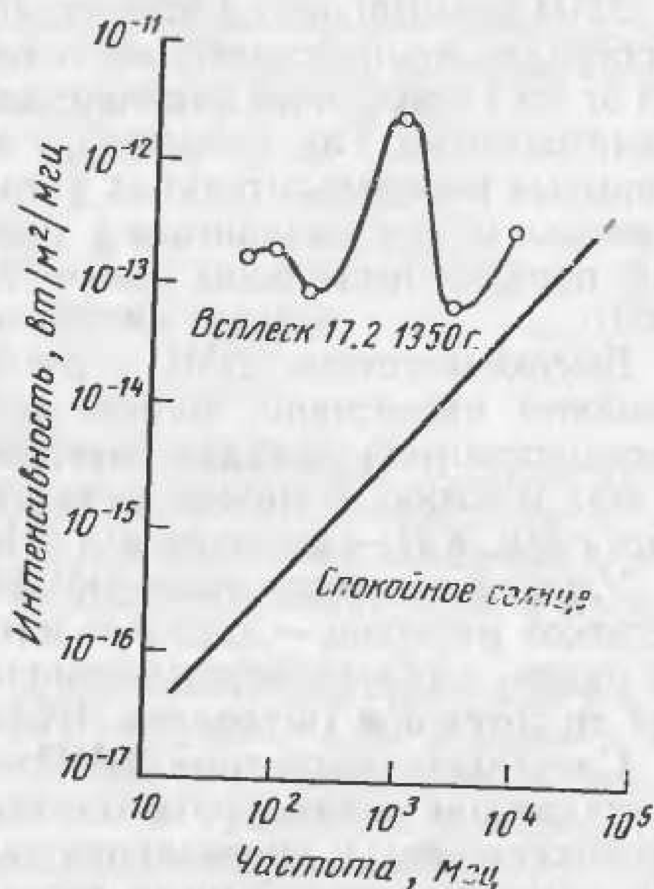


Рис. 11. Распределение интенсивности солнечного излучения в радиочастотном диапазоне

Поток радиоизлучений из галактик (от «радиозвезд») на частоте 100 *Мгц* составляет по порядку величины 10^{-16} *вт/м²/Мгц*.

Интенсивность этих радиоизлучений изменяется с суточной периодичностью, что связано с вращением Земли относительно источников излучений. Максимальная интенсивность наблюдается в утренние часы, минимальная — в ночные (Полуханов, 1965).

Кроме того, радиоизлучения изменяются по интенсивности с периодичностью 27—28 дней, связанной с вращением Солнца, и, наконец, с 11-летней периодичностью солнечной активности.

2.5. ЭМП в окрестности генераторов различных частотных диапазонов

С развитием электроэнергетики, радио- и телевизионной техники появилось большое число разнообразных источников ЭМП.

Мы не будем проводить детального обзора всех типов генераторов, а укажем лишь на основные параметры тех, которые чаще всего встречаются на промышленных предприятиях, на радио-, телевизионных станциях и в медицинских учреждениях.

Отметим прежде всего, что в диапазоне от низких до ультравысоких частот электромагнитные поля в окрестности генераторов следует рассматривать как поля индукции, а не как поток излучения радиоволн. Как уже указывалось, поля индукции бы-

стро ослабляются по мере удаления от источника и за пределами окрестности радиусом в несколько длин волн (где и расположены чаще всего рабочие места обслуживающего персонала) напряженности ЭМП составляют уже незначительную долю от их начальных величин.

ЭМП промышленной частоты (50 *гц*) возникают у линий электропередач, трансформаторов и т. п. В непосредственной близости от этих источников напряженности ЭМП могут быть и весьма значительными. Так, например, у высоковольтных (400 и 500 *кв*) открытых распределительных устройств (ОРУ) обслуживающий персонал может находиться в поле с электрической составляющей порядка нескольких тысяч *в/м* (Сазонова, 1964; Лебедева, 1963).

Высокочастотные ЭМП — от десятков до сотен килогерц — наиболее интенсивны вблизи промышленных генераторов для высокочастотной закалки металлов, сушки древесины и т. п. В этих условиях E может достигать на рабочих местах значений тысяч *в/м*, а H — десятков *а/м* (Никонова, 1963).

Ультравысокочастотные ЭМП — от нескольких мегагерц до десятков мегагерц — наиболее интенсивны в рабочих помещениях радио- и телевизионных станций, где напряженности E доходят до сотен *в/м* (Фукалова, 1964а).

Сверхвысокочастотные ЭМП — от сотен до тысяч мегагерц, возникающие вблизи соответствующих установок (например, радиолокационных), оцениваются уже по плотности потока мощности, значения которой могут достигать нескольких *мвт/см*^{2}.

2.6. «Радиофон»

За счет излучений многочисленных радио- и телевизионных станций вокруг Земного шара создается своеобразный «радиофон». Оценка интенсивности «радиофона» и ее изменений во времени весьма затруднительна. Однако некоторые общие соображения по этому поводу можно высказать.

Прежде всего, следует отличать районы, расположенные в окрестности радио- и телевизионных станций, от районов, далеко расположенных от них. В районах первого типа интенсивность «радиофона» может быть довольно значительной — порядка десятых долей *в/м*. В удаленных районах интенсивность «радиофона» значительно ниже и основной вклад в него вносят коротковолновые станции. Так как все станции излучают некогерентно, «радиофон» представляет собой результат суммирования излучений.

Что касается изменения интенсивности «радиофона» в зависимости от времени суток, то оно имеет место только в районах первого типа, где основными источниками «радиофона» служат длинноволновые и средневолновые станции, а также телевизион-

ные станции, работающие в метровом диапазоне. Эти станции, как правило, прекращают работу в период примерно от 1 часа до 6 час. утра. Коротковолновые же станции, ведущие передачи по всему Земному шару, работают практически круглосуточно.

Общее представление об уровне интенсивности «радиофона» может дать сравнение его с уровнем атмосферных помех. Считают, что уровень радиосигналов в 10—100 раз выше уровня помех (что и обеспечивает уверенный прием радиосигналов).

Глава 3

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТКАНЕЙ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Теоретическим и экспериментальным исследованиям электрических свойств тканей живых организмов посвящено значительное число работ, в том числе несколько обзорных статей (Schwan, 1948, 1954, 1955, 1957, 1959; Hartmuth, 1954; Пресман, 1956а, 1964а, 1964б, 1965а).

Ткани живых организмов по электрическим свойствам можно разделить на три группы, в соответствии с содержанием в них воды: на суспензию клеток и белковых молекул жидкой консистенции (кровь, лимфа), аналогичную суспензию, находящуюся в уплотненном состоянии (мышцы, кожа, печень и т. п.), и ткани с малым содержанием воды (жир, кости). Клетки, коллоидные частицы, молекулы белка и другие микрочастицы, будучи взвешены в растворе электролита, приобретают дипольный момент. Электрические заряды в тканях представлены также дипольными молекулами воды и, наконец, ионами электролитов.

3.1. Свойства тканей в постоянных полях

В постоянном электрическом поле ткани в той или иной степени поляризуются — заряженные частицы перемещаются вдоль силовых линий, дипольные молекулы ориентируются в этом же направлении. Если постоянное напряжение приложено непосредственно к ткани, то в ней возникает электрический ток, связанный с ионной проводимостью.

Каждая клетка окружена мембраной, обладающей поверхностной емкостью в пределах 0,1—3 *мкф/см²* и поверхностным сопротивлением до 10 000 *ом·см²*. Межклеточная и внутриклеточная среды имеют сопротивление порядка 100—300 *ом·см* и диэлектрическую проницаемость около 80. На рис. 12 приведена эквивалентная схема клетки с внеклеточной средой.

Очевидно, что при постоянном напряжении мембрана ведет себя как изолятор и ток может протекать только во внеклеточ-

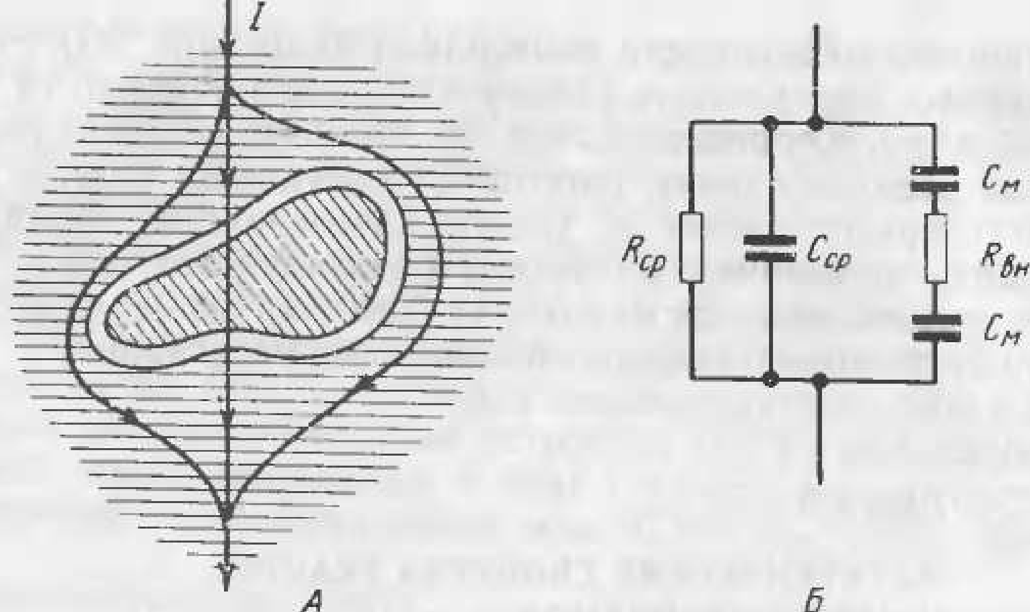


Рис. 12. Прохождение электрического тока (I) в клетке ($А$) и эквивалентная электрическая схема клетки ($Б$)

$R_{ср}$ — сопротивление и $C_{ср}$ — емкость внеклеточной среды, $R_{вн}$ — сопротивление внутриклеточной среды, $C_м$ — емкость мембраны клетки

ной среде. Под действием постоянного напряжения может происходить и явление электрофореза — переноса электрически заряженных частиц (клеток, макромолекул).

3.2. Дисперсия электрических параметров тканей в переменных полях

Электрические свойства живых тканей в переменных ЭМП наиболее подробно рассмотрены в работах Швана с сотрудниками (Schwan, 1953б, 1956; Schwan, Li, 1953; Schwan, Kay, 1956; Schwan, Carstensen, 1957; Rajewsky, Schwan, 1948, и др.), а так-

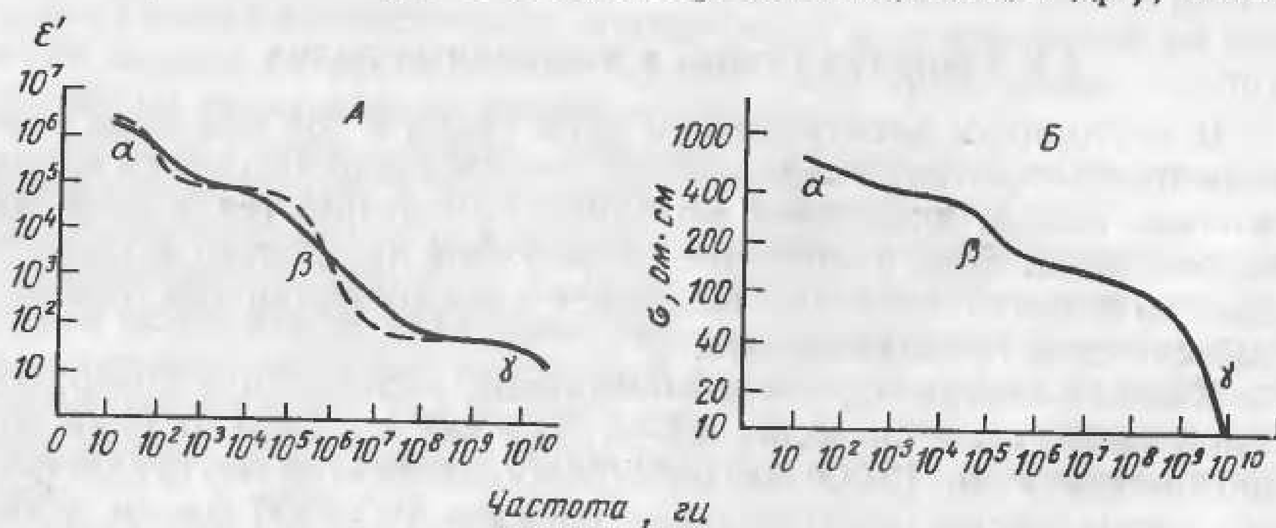


Рис. 13. Зависимость диэлектрической проницаемости ($А$) и удельного сопротивления ($Б$) мышечной ткани от частоты

Пунктир — теоретическая кривая

же рядом других исследователей (Cook, 1951а, 1951б, 1952б; Cole K., Cole R., 1941, и др.). Мы остановимся только на некоторых основных выводах, вытекающих из этих исследований.

В рассматриваемой нами области ЭМП — от инфранизких до сверхвысоких частот — имеются три частотных диапазона, в которых наблюдается изменение ε′ и σ (или ρ = 1/σ) тканей в зависимости от частоты: диапазон α-дисперсии при низких частотах, диапазон β-дисперсии при радиочастотах и диапазон γ-дисперсии при сверхвысоких частотах. На рис. 13 приведен график, показывающий ход этих трех видов дисперсии для мышечной ткани (человека и других млекопитающих). Аналогичная кривая дисперсии получена и для других тканей с высоким содержанием воды. Для тканей же с малым содержанием воды, например жировых, кривая имеет в общем тот же характер, но значения ε′ и σ примерно на порядок ниже.

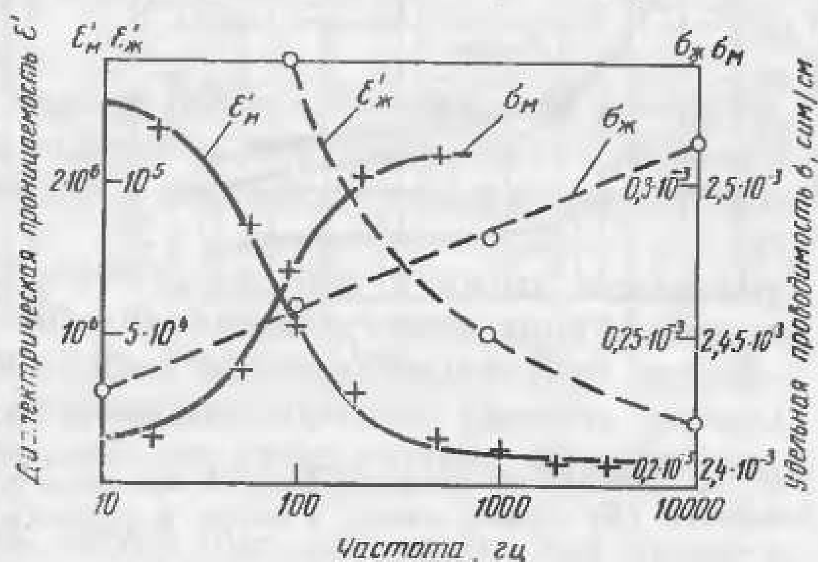


Рис. 14. Диэлектрическая проницаемость и удельная проводимость мышечных ($\varepsilon'_м$, $\sigma_м$) и жировых ($\varepsilon'_ж$, $\sigma_ж$) тканей при низких частотах

Сплошные кривые вычислены по формуле Дебая (12), крестики и кружки — экспериментальные данные

На рис. 14 приведены графики изменения ε′ и σ тканей при низких частотах (α-дисперсия). По поводу механизма дисперсии этого вида высказываются следующие предположения (Schwan, 1957):

1. Так как при низкой частоте возможна только ионная проводимость, а мембраны клеток ведут себя как изолирующие слои, то низкочастотные токи могут протекать только во внеклеточной среде, что и обусловливает низкую удельную проводимость тканей. Жировые ткани сами по себе обладают низкой удельной проводимостью, а содержание в них электролитов весьма мало. Возрастание σ с увеличением частоты можно отнести за счет соответствующего уменьшения емкостного сопротивления мембраны клетки, что ведет ко все возрастающему участию внутриклеточной среды в общей проводимости ткани.

2. Весьма высокие значения ε′ при низких частотах и резкое падение этой величины с увеличением частоты связаны с релаксацией процессов заряда и разряда на мембране клетки или с релаксацией, обусловленной ионной атмосферой, окружающей

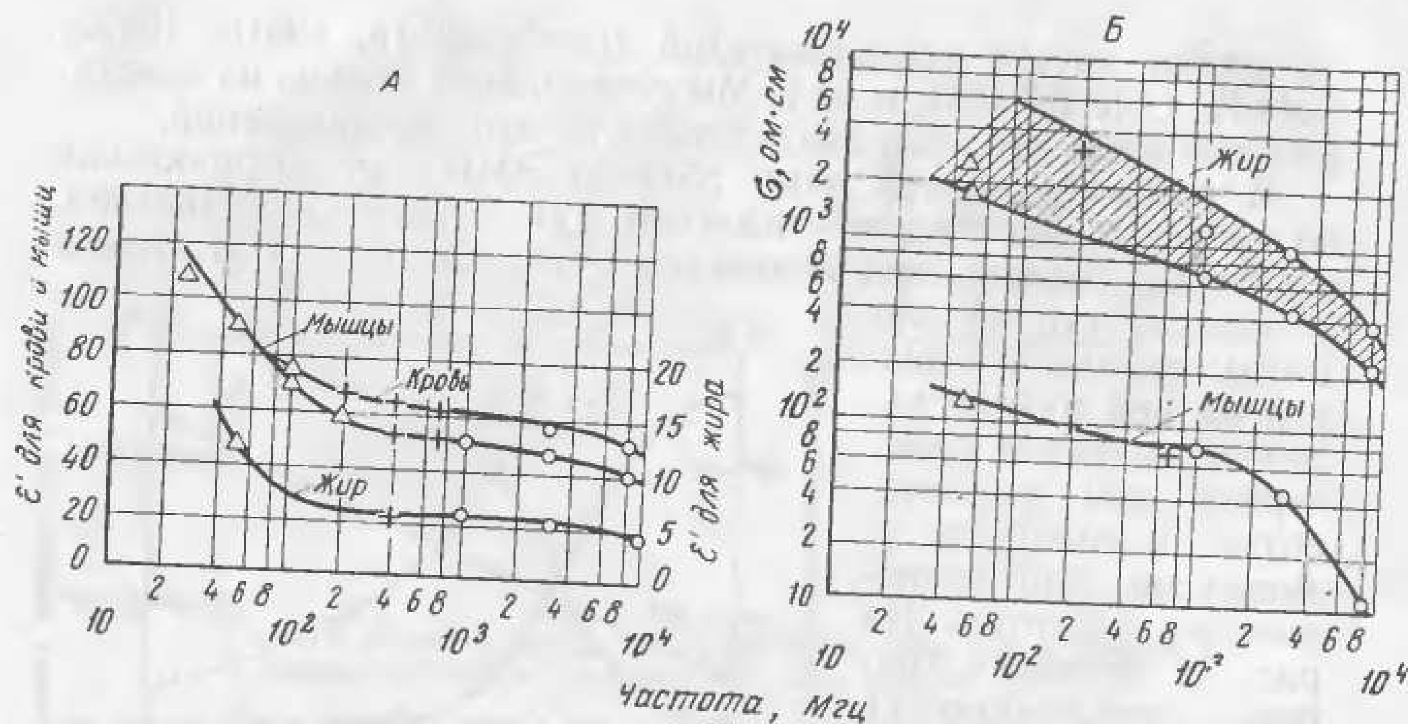


Рис. 15. Дисперсия диэлектрической проницаемости (*А*) и удельного сопротивления (*Б*) крови, мышц и жира в радиочастотном диапазоне

электрически заряженную поверхность клетки. Частоты еще столь низки, что клеточные мембраны успевают зарядиться (за счет ионов вне и внутри клетки) за один период. Следовательно, полный заряд за период велик и емкость ткани значительна. А это эквивалентно высокой диэлектрической проницаемости ткани (емкости на единицу объема).

β-дисперсия в области более высоких частот, вплоть до сверхвысоких, графически представлена на рис. 15 (Schwan, Piersol, 1954; Schwan, 1957). По мере возрастания частоты ε′ уменьшается до тех пор, пока период не становится столь малым, что мембраны не успевают заряжаться (иначе говоря, когда емкостное сопротивление мембраны становится незначительным). Такие условия возникают для крови примерно при частоте 100 *Мгц*. Понижение удельного сопротивления до этой частоты связано с уменьшением емкостного сопротивления мембраны клетки, благодаря чему внутриклеточное содержимое принимает все большее участие в общей проводимости тканей. На примере исследований электрических свойств крови было показано (Schwan; 1953а, 1955; Cook, 1951б, и др.), что дисперсия этого типа удовлетворительно описывается уравнением (12) при следующих параметрах:

$$\tau = RC_м \frac{\sigma_i + 2\sigma_a}{2\sigma_i\sigma_a + RG_м(\sigma_i + 2\sigma_a)};$$

$$\varepsilon_s' = \frac{9}{4\varepsilon_0}\frac{pRC_м}{\left[1 + RG_м\left(\frac{1}{\sigma_i} + \frac{1}{2\sigma_a}\right)\right]^2}; \qquad (22)$$

$$\sigma_\infty = \sigma_a\left(1 + 3p\frac{\sigma_i + \sigma_a}{\sigma_i + 2\sigma_a}\right);$$

$$\sigma_s = \sigma_a\left[1 + \frac{3}{2}p\frac{1 + RG_м\left(\frac{1}{\sigma_i} - \frac{1}{\sigma_a}\right)}{1 + RG_м\left(\frac{1}{\sigma_i} + \frac{1}{\sigma_a}\right)}\right], \qquad (23)$$

где R — радиус клетки, p — доля объема, занимаемая клетками, $C_м$ и $G_м$ — емкость и проводимость мембраны клетки; индексы i и a относятся соответственно к внутриклеточному и внеклеточному содержимому.

При частотах порядка нескольких *Мгц* к этому механизму дисперсии, связанной с мембранной релаксацией, прибавляются еще и сравнительно более слабые эффекты релаксации дипольных белковых молекул (характеристические частоты вблизи 10 *Мгц*) и структурной релаксации субклеточных компонентов (Schwan, 1959).

Трудно было объяснить небольшую дисперсию для крови в диапазоне частот от 100 *Мгц* до 1 *Ггц*. При этих частотах влияние клеточных мембран уже не сказывается (они становятся «короткозамкнутыми»), а релаксация полярных молекул воды еще не возникает. Ионное же содержимое электролитической среды тканей не влияет на дисперсию диэлектрической проницаемости, и, следовательно, в рассматриваемом диапазоне частот ε' электролитической среды практически не зависит от частоты. То же можно сказать и о проводимости электролитов.

Предполагается (Schwan, 1957, 1959), что в этом частотном диапазоне электрические свойства тканей с высоким содержанием воды обусловлены электролитической средой с суспендированными в ней белковыми молекулами, обладающими более низким значением ε'. Иначе говоря, макромолекулы представляют собой как бы «диэлектрические полости» в электролите. Диэлектрическая проницаемость такой макромолекулярной суспензии может быть определена из уравнения Фрике (Fricke, 1925):

$$\frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_a}{\varepsilon_\infty + \chi\varepsilon_i} = p\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_a}{\varepsilon_i + \chi\varepsilon_a}, \qquad (24)$$

где χ — фактор, учитывающий эллипсоидальную форму молекулы.

Это уравнение может быть использовано для вычисления «эффективной» диэлектрической проницаемости гидратированного белка, рассматриваемого вместе с гидратной оболочкой как единое целое.

Дисперсия ε' таких тканей, как кровь (или других тканей с высоким содержанием воды), может быть отнесена за счет зависимости эффективной диэлектрической проницаемости белковых

Таблица 2

Значения электрических параметров ткаией животиых и человека в различных

Частота	Мышца	Сердечная мышца	Печень	Легкие	Селезенка	Почки
						Удельное сопро
10 *гц*	[а]960	[а]960	[а]840, 1220	[а]1100	—	—
100 *гц*	[а]890	[а]920	[а]800, 1060	[а]1110	—	—
1 *кгц*	[а]800 980	[а]750, 930 [д]830—900 [ж]700—1300	[а]770, 800,970 [д]1000—1600	[а]1000 [д]1400—1900	[а]1000 [ж]260—430	—
10 *кгц*	[а]760, 880	[а]600	[а]685, 860	[а]9 0	—	—
100 *кгц*	[и]170—250 [е]520	[и]190—240	[а]460 [и]220—550 [ж]550—800 [к]420	[и]16[illegible]—200	[и]250—500	[и]190—270
1 *Мгц*	[и]160—210 [е]200	[и]180—230 [ж]400—550 [к]400	[и]210—420	[и]150—280	[и]220—380	[и]140—250
10 *Мгц*	[и]150—170	[и]140—180	[и]180—260	[и]110—150	[и]150—170	[и]120—170
100 *Мгц*	[л]100—130 [и]120—160 [и]140—200 [и]120—150	[и]130—170	[л]120—145 [и]150—200 [и]180—210 [и]150—180	[л]95—130 [и]100—140	[л]85—105 [и]110—150 [и]150 [и]120	[л]100—120 [и]100—150 [и]130—160 [и]90—140
1 *Ггц*	[о]75—79 [п]81—84 [р]77	[п]83—100	[о]98—106 [п]92—103 [р]100	[п]137	—	[п]81—82
10 *Ггц*	[о]12 [с]13	—	[о]15—17	—	—	—
24 *Ггц*	—	—	—	—	—	—

частотных диапазонах

Мозг	Жировая ткань	Кость	Костный мозг	Кровь	Плазма	0,9%-ный раствор NaCl
тивление ρ, ом·см						
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	[б]166	—	—
[д]500—800 [ж]450—550	[а]500—5000 [в]1700—2500			[б]166 [г]147 [д]120—135 [з]130—180	[г]60	—
—	—	—	—	[г]147	—	—
[и]460—880	—	—	—	[г]147	—	—
[и]430—700	—	—	—	[г]140	—	—
[и]300—450	—	—	—	[г]90	—	—
[л]160—230 [н]200—300 [н]220—280 [н]180—200	[л]1170—1250 [н]1500 [н]2200—4300 [н]1700—2500	— —	[н]4100—5300 [н]3000—5000	[м]82 [н]120—150 [н]80—100	[л]61 [м]70 [н]80 [н]60	60
—	[о]700—1400 [п]1100—3500 [р]2700	[о]2000	[о]1000—2300	[о]64—72 [п]80	[о]54	49 56 53
—	[с]240—370 [с]210	[о]150 [с]130	[о]60—200 [с]100	[с]11 [с]9,5 [т]9,3	[о]9	9
—	[ф]71	[ф]71	—	[ф]3,8	—	—

Таблица 2 (продолжение)

Частота	Мышца	Сердечная мышца	Печень	Легкие	Селезенка	Почки
			Диэлектрическая прони			
10 гц	$^{\text{а}}10000 \cdot 10^{3}$	$^{\text{а}}7000 \cdot 10^{3}$	$^{\text{а}}16000 \cdot 10^{3}$	$^{\text{а}}8000 \cdot 10^{3}$	—	—
100 гц	$^{\text{а}}800 \cdot 10^{3}$ $^{\text{у}}1000 \cdot 10^{3}$	$^{\text{а}}800 \cdot 10^{3}$ $^{\text{а}}820 \cdot 10^{3}$	$^{\text{а}}900 \cdot 10^{3}$ $^{\text{а}}850 \cdot 10^{3}$	$^{\text{а}}450 \cdot 10^{3}$	—	—
1 кгц	$^{\text{а}}130 \cdot 10^{3}$ $^{\text{е}}100 \cdot 10^{3}$ $^{\text{у}}170 \cdot 10^{3}$	$^{\text{а}}300 \cdot 10^{3}$	$^{\text{а}}150 \cdot 10^{3}$	$^{\text{а}}90 \cdot 10^{3}$	—	—
10 кгц	$^{\text{а}}50 \cdot 10^{3}$ $^{\text{а}}60 \cdot 10^{3}$ $^{\text{у}}90 \cdot 10^{3}$ $^{\text{е}}50 \cdot 10^{3}$	$100 \cdot 10^{3}$	$^{\text{а}}50 \cdot 10^{3}$ $^{\text{а}}60 \cdot 10^{3}$	$^{\text{а}}30 \cdot 10^{3}$		
100 кгц	$^{\text{е}}20 \cdot 10^{3}$ $^{\text{у}}30 \cdot 10^{3}$		$^{\text{ж}}7000—12000$	—	—	—
1 Мгц	$^{\text{е}}2000$	—	$^{\text{ж}}1200—2000$	—	—	—
10 Мгц	—	—	—	—	—	—
100 Мгц	$^{\text{и}}69—73$ $^{\text{и}}71—76$	—	$^{\text{л}}65—75$ $^{\text{и}}72—74$ $^{\text{и}}70—79$	—	$^{\text{и}}88—90$ $^{\text{н}}100—101$	$^{\text{и}}83—84$ $^{\text{и}}87—92$
1 Ггц	$^{\text{о}}49—52$ $^{\text{п}}53—55$ $^{\text{р}}61$	$^{\text{п}}53—57$	$^{\text{о}}46—47$ $^{\text{п}}44—52$ $^{\text{р}}50$	$^{\text{п}}35$	—	$^{\text{п}}53—56$
10 Ггц	$^{\text{о}}40—42$ $^{\text{с}}29$		$^{\text{о}}34—38$	—	—	—
24 Ггц	—	—	—	—	—	—

Примечания: а — собака, in situ, при темп. тела; б — овца, при темп. темп. 20°; д — кролик, свежие ткани, при темп. 23°; е — кролик, свежие темп. 23°; з — овца, при темп. 18°; и — человек, измельченные ткани, при мельченные ткани, при темп. 37°; м — овца, при темп. 20°; н — бык и свинья, 38°, кость и костный мозг, при темп. 25°; п — человек, свежие ткани, свежие ткани, при темп. 37°; т — человек, свежие ткани, при темп. 35°; темп. 37°.

Мозг	Жировая ткань	Кость	Костный мозг	Кровь	Плазма	0,9%-ный раствор NaCl
цаемость ε, относительно вакуума						
—	—	—	—	—	—	—
—	[а]150·10³	—	—	—	—	—
—	[а]50·10³	—	—	—	—	—
—	[а]20·10³	—	—	[г]2900 [г]2800	—	—
—	—	—	—	[г]2740	—	—
—	—	—	—	[г]2940	—	—
—	—	—	—	[г]200	—	—
[и]70—75 [и]81—83	[и]8—13 [и]11—13	—	[и]7—8	[и]72—74 [и]73—76	[и]82 [и]76	78
—	[о]4,3—7,5 [п]3,2—6 [г]9,5	[о]8	[о]4,3—7,8	[о]58—62 [п]63	[о]69	72 78
—	[о]3,5—3,9 [с]3,6	[о]8 [с]6,6	[о]4,4—6,6 [с]5,8	[о]50—52 [с]45 [т]48	[с]61	66
—	[ф]3,4	[ф]6,3	—	[ф]3,2	—	—

18° (плазма при 37°); в — собака, in situ, при темп. тела; г — кролик, при ткани, при темп. 20°; ж — человек и различные животные, свежие ткани при темп. 18°; к — кролик, измельченные ткани, при темп. 23°; л — человек, из- свежие при темп. 20°; о — собака и лошадь, свежие ткани и кровь, при темп. при темп. 23°; р — бык, измельченные ткани, при темп. 22°; с — человек, у — лягушка, свежие ткани, при темп. 25°; ф — человек, свежие ткани, при

молекул от частоты. Такую зависимость, найденную для молекул гемоглобина, пытаются объяснить, исходя из двух возможных механизмов (Schwan, 1959):

1. В белковой молекуле имеются относительно свободные группы, способные колебаться под действием ЭМП, частота которых выше характеристической частоты для вращения молекулы в целом. Для некоторых аминокислот и пептидов действительно был обнаружен спектр характеристических частот в рассматриваемом диапазоне (Schwan, 1955).

2. Диэлектрические свойства водной оболочки обнаруживают дисперсию на частотах выше 100 *Мгц*. Предполагается, что по диэлектрическим свойствам «связанная» (гидратирующая) вода занимает промежуточное положение между льдом (характеристическая частота которого лежит в диапазоне звуковых частот) и свободной водой (около 2 *Ггц*). Характеристические частоты связанной воды лежат в промежуточном диапазоне.

Сложнее обстоит дело с дисперсией σ в этом диапазоне. Расчетные данные, полученные из формулы, аналогичной (24), сильно отличаются от экспериментальных. По-видимому, это связано с эффектом ионных связей белкового компонента макромолекулярной суспензии, зависящим от концентрации.

Характер γ-дисперсии при частотах выше 1 *Ггц* удовлетворительно объясняется полярными свойствами молекул воды. Кривые дисперсии достаточно хорошо согласуются с уравнениями Дебая (12), если в выражение для ε'' ввести член, учитывающий ионную проводимость (Cook, 1951):

$$\varepsilon'' = \frac{\varepsilon'_s - \varepsilon'_\infty}{1 + (\omega\tau)^2}\omega\tau + 1{,}3\cdot 10^{13}\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}, \qquad (25)$$

где τ — время релаксации для молекул воды (порядка 10^{-11} сек.), а σ — ионная проводимость, не зависимая от частоты.

Характер дисперсии для жировых тканей обусловливается их структурой. Установлено (Cook, 1951), что параметры чисто жировых тканей практически не зависят от частоты в диапазоне выше 100 *Мгц*, тогда как у тканей, состоящих из жировых клеток, окруженных электролитической средой, наблюдается дисперсия. Для костных тканей дисперсия удовлетворяет уравнениям Дебая при времени релаксации $0{,}7\cdot 10^{-11}$ сек. и с поправкой на ионную проводимость.

3.3. Значения электрических параметров тканей

Измерения электрических параметров живых тканей производились методами, обычно применяемыми в электрических и радиотехнических измерениях (Курс электрических измерений, 1960; Брандт, 1963). На низких частотах применялись мосты полных сопротивлений (Schwan, 1953б; Schwan, Sittel, 1953а, 1953б),

в радиочастотном диапазоне — резонансные методы с использованием двухпроводных линий (Schwan, 1950, 1955; Schwan, Li, 1955а, 1955б, и др.) и коаксиальных линий (Laird, Ferguson, 1949; Cook, 1951а, и др.), на сверхвысоких частотах — волноводные линии (England, Sharples, 1949; Herrick et al., 1950; Jackson, 1946; Grouch, 1948; Ливенсон, 1964а, и др.). Для измерений с жидкими веществами на сверхвысоких частотах применялись и волноводные мосты (Buchanan, 1952). Наконец, измерения электрических параметров малых образцов биологических материалов на сверхвысоких частотах проводились при помощи объемных резонаторов (Shaw, Windle, 1950; Bayley, 1951) [1].

Для измерений использовали обычно свежие образцы тканей и несвернувшейся крови, взятые у человека и различных животных и поддерживаемые в процессе измерения при постоянной температуре в пределах от 18 до 38°. Проводились также и измерения in situ.

В табл. 2 приведены величины удельного сопротивления и диэлектрической проницаемости различных тканей при частотах от 10 *гц* до 24 *Ггц*. Таблица составлена по данным, взятым из книги «Handbook of Biological Date» (1956) и из других источников (Roberts, Cook, 1952; Schwan, 1957; Cook, 1951а; England, Sharples, 1949; England, 1950; Herrick et al., 1950; Horn. 1965). Величины ε' и ρ изменяются с температурой. Если их частотная зависимость мала, то эти изменения составляют

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = -2\ \%/^\circ C \quad \text{и} \quad \frac{\Delta\varepsilon'}{\varepsilon'} = -0{,}5\ \%/^\circ C.$$

Глава 4

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Как указывалось во введении, попытки выяснить физические механизмы биологического действия ЭМП и оценить минимальную интенсивность, при которой ЭМП еще может действовать на биологические объекты, обычно основываются на рассмотрении энергетических взаимодействий ЭМП с этими объектами. В одних случаях интересовались физико-химическими процессами, возникающими в живых тканях под действием ЭМП, в других — зависимостью этого действия от макроскопических параметров биологических объектов.

---

[1] О волноводных элементах и объемных резонаторах будет рассказано в § 6. 4.

4.1. Биологические объекты в электростатическом поле

В тканях живых организмов, находящихся в электростатическом поле, индуцируются электрические заряды на поверхностях раздела сред с различными электрическими параметрами, а также происходит поляризация связанных зарядов.

В электростатическом поле большинство тканей можно рассматривать как проводящие среды, а тело человека или животного в первом приближении считать гомогенным проводником. При этом допущении можно оценить распределение заряда, индуцированного на поверхности тела, исходя из формул, выведенных для проводящих тел простых геометрических форм, находящихся в электрическом поле (Стрэттон, 1948; Ландау и Лифшиц, 1957). Так, например, тело человека можно рассматривать как гомогенный проводящий эллипсоид. Если такой эллипсоид находится в однородном электростатическом поле с напряженностью E, причем его большая ось параллельна линиям поля, то плотность индуцируемого поверхностного заряда определяется из соотношения:

$$q_{\text{пов}} = \frac{E}{4\pi n} \cos \theta, \tag{26}$$

где n — коэффициент, зависящий только от формы эллипсоида, а θ — угол между направлением на рассматриваемую точку поверхности и направлением поля.

В этом случае распределение поверхностных зарядов таково, что эллипсоид приобретает дипольный момент p (вдоль большой оси), равный

$$p = \frac{abcE}{3n}, \tag{27}$$

где a, b, c — полуоси эллипсоида.

Для проводящих тел сферической формы с радиусом a соответствующие формулы имеют вид:

$$q_{\text{пов}} = \frac{3E}{4\pi} \cos\theta; \quad p = a^3 \cdot E. \tag{28}$$

Хилл (Hill, 1958) теоретически рассмотрел возможный механизм взаимодействия электростатического поля с макромолекулами тканей. Электрическое поле вызывает поляризацию макромолекул в растворе, обусловленную как наличием постоянного дипольного момента у молекул, так и изменением расположения протонов в молекуле. Такое действие может влиять на относительную стабильность двух возможных конфигураций макромолекул. На основе этих соображений автор делает вывод, что под действием полей напряженностью порядка 10 000 *в/см* может произойти разделение цепей ДНК (переход от спаренного состояния к неспаренному), а это может послужить пусковым ме-

ханизмом для разделения хромосом в клеточном ядре, предшествующего делению клетки. Другая возможность — влияние поля на состояние белковых цепей в мышечных волокнах (переход от длинной цепи к короткой), что может служить пусковым механизмом для мышечного сокращения.

4.2. Биологические объекты в магнитостатическом поле

Постоянное магнитное поле в принципе может оказывать влияние на различные процессы в биологических объектах: насчитывают до 20 возможных видов такого рода взаимодействий (J. Barnothy, 1964). За последние годы сделано немало попыток теоретического рассмотрения основных физических механизмов биологических эффектов магнитного поля и оценки величин напряженности поля, при которых возможны такие эффекты. Эти теоретические исследования можно разделить на две основные группы в зависимости от того, какие эффекты магнитного поля (микроскопические или макроскопические) в них рассматриваются.

В первой группе исследований исходное предположение состоит в том, что механизмы биомагнитных эффектов обусловлены физическими явлениями, возникающими на молекулярном и даже на атомном уровне. Так, одни авторы видят основную причину биомагнитных эффектов в ориентации диамагнитных или парамагнитных молекул под действием магнитного поля, другие предполагают, что это поле может вызывать искажения валентных углов в молекулах, третьи обращают внимание на ориентацию спинов молекул в магнитном поле и т. п.

Дорфман (1962) указывает на тот факт, что белковые макромолекулы — обычно диамагнитные и обладающие осевой симметрией — должны проявлять довольно высокую магнитную анизотропию (различие магнитной восприимчивости χ вдоль и поперек оси молекулы) порядка $\Delta\chi = 10^{-22}$. Благодаря этому в белковом растворе, находящемся в однородном магнитном поле с напряженностью $H = 10^4$—10^5 *э*, могла бы произойти почти стопроцентная ориентация макромолекул. А в неоднородном поле с градиентом напряженности $\frac{dH}{dx} = 10^4$ *э/см* эффект такой ориентации мог бы привести к возникновению соответствующего градиента концентрации белковых молекул в растворе. Однако в весьма вязких биологических растворах установление ориентационного равновесия для анизотропных молекул представляется маловероятным. Кроме того, тепловое движение будет расстраивать ориентацию макромолекул под действием поля, если магнитная энергия, рассчитанная на одну молекулу, не будет превосходить kT. А это возможно только при весьма высоких напряженностях поля — свыше 10^5 *э*.

Между тем другие авторы (Антонов, Плеханов, 1960) указывали на тот факт, что силы сцепления между молекулами приводят к их ближней упорядоченности, т. е. могут облегчать ориентационное действие магнитного поля на фоне теплового движения; такое действие становится вероятным при напряженности всего 100 *э*. Возможность биомагнитных эффектов при сравнительно небольших напряженностях поля (порядка тысяч эрстед) предполагает и Гросс (Gross, 1965); по его мнению, они могут происходить за счет ориентации магнитных моментов неспаренных электронов в свободных радикалах, несмотря на нарушающее действие теплового движения. Он считает возможным и другой механизм биомагнитного эффекта: искажение валентных углов в парамагнитных молекулах.

Квантово-механическую модель механизма действия магнитного поля рассматривает также Валентинуцци (Valentinuzzi, 1964), вводя фактор замедления биохимических реакций, выражающий отношение числа молекул, находящихся на низком стабильном уровне (магнитный момент параллелен полю), к числу молекул на более высоком уровне (момент антипараллелен полю). По расчетам автора, для реакций с участием метгемоглобина в поле с напряженностью $5 \cdot 10^3$ *э* фактор замедления должен быть равен 0,99, а при $8 \cdot 10^5$ *э* реакции полностью останавливаются.

Недавно было высказано предположение (Непримеров и др., 1966), что в молекулах воды, помещенной в магнитное поле, могут происходить *орто — пара*-переходы [1]. Необходимая для этого магнитная энергия (в расчете на молекулу) весьма невелика — например, в сотни раз меньше, чем для разрывов слабых водородных связей в молекуле. В результате *орто — пара*-переходов в водных растворах могут возникать области с параллельной ориентацией спинов, что приведет к выталкиванию из таких областей растворенных веществ.

Макроскопические механизмы биомагнитных эффектов рассматривались на различных моделях. Так, Нейрат (Neurath, 1964) указывает, что в магнитном поле с напряженностью 3.10^5 *э* эритроциты должны вращаться со скоростью 68 *град/мин*, т. е. вдвое быстрее, чем за счет теплового движения, однако установление равновесного состояния в таком эффекте будет весьма медленным. Более вероятным автор считает эффект возникновения градиента электрического потенциала в кровеносных сосудах под действием магнитного поля (магнитоэлектрический эффект). Например, в аорте при скорости кровотока 100 *см/сек* под действием магнитного поля напряженностью 500 *э* будет ин-

---

[1] Переходы молекул воды из *орто*-состояния, в котором спины протонов обоих атомов водорода параллельны, в *пара*-состояние, в котором спины антипараллельны.

дуцироваться электрическое поле с градиентом 0,14 *мв/см*, а при напряженности $5 \cdot 10^5$ *э* — поле с градиентом 5 *мв/см*, что сравнимо уже с чувствительностью нервных клеток, составляющей 10 *мв/см*. Другой пример: индуцирование электрического поля с градиентом 0,1 *мв/см* в сосудах рыб при их поворотах на 180° в секунду в магнитном поле напряженностью 500 *э*. Такой градиент значительно превышает чувствительность специальных электрорецепторов у рыб, реагирующих на градиенты порядка 10^{-5} *мв/см*.

С позиций магнитомеханических явлений подошел к механизму биомагнитных эффектов Дорфман (1966). Он рассматривает пульсирующие давления, которые могут возникать в тканях организмов при взаимодействии магнитного поля с биотоками, частоты которых варьируют от 10 до 2.10^3 *имп/сек*. По расчетам автора, при напряженности поля 10^2—10^3 *э* на участках, где протекают биотоки, могут возникать пульсирующие пондеромоторные силы, оказывающие давления порядка 10^{-6}—10^{-1} *дин/см²*. Чувствительность человеческого уха (10^{-4} *дин/см²*) находится как раз в этих пределах. Интересно предположение Дорфмана о возможности резонансных эффектов такого рода, когда частота вынужденных механических колебаний в данном участке организма (или органа) совпадает с собственной частотой его свободных колебаний. В этом случае магнитомеханический эффект может быть существенным и при весьма малых напряженностях поля, например в геомагнитном поле.

Итак, большинство авторов, исходя из теоретических соображений и расчетов, основанных на микроскопических и макроскопических концепциях, приходит к заключению, что биомагнитные эффекты возможны только при достаточно высоких напряженностях поля — по крайней мере в тясячи эрстед.

4.3. Поглощение энергии ЭМП в тканях и преобразование ее в тепловую

Исследованиям преобразования энергии ЭМП в тепловую посвящено значительное число теоретических и экспериментальных работ, так как такой механизм взаимодействия ЭМП с живыми тканями считали единственно возможной причиной любых биологических эффектов, вызываемых ЭМП от низких частот до сверхвысоких. На этой основе были разработаны и получили широкое распространение методы применения ЭМП высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот для лечения различных заболеваний; исходя из тепловой концепции, некоторые исследователи пытались оценивать предельно допустимые интенсивности ЭМП радиочастот при изучении их профессиональной вредности.

Как мы указывали во введении, тепловая концепция биологических эффектов ЭМП противоречит результатам ряда исследо-

ваний, проведенных с ЭМП слабых интенсивностей. Однако в тех случаях, когда биологические объекты подвергаются воздействию ЭМП достаточно высоких интенсивностей (при которых тепловой эффект уже возможен), она представляется полезной. Поэтому мы подробно рассмотрим теоретические и экспериментальные данные о тепловых эффектах ЭМП различных частот.

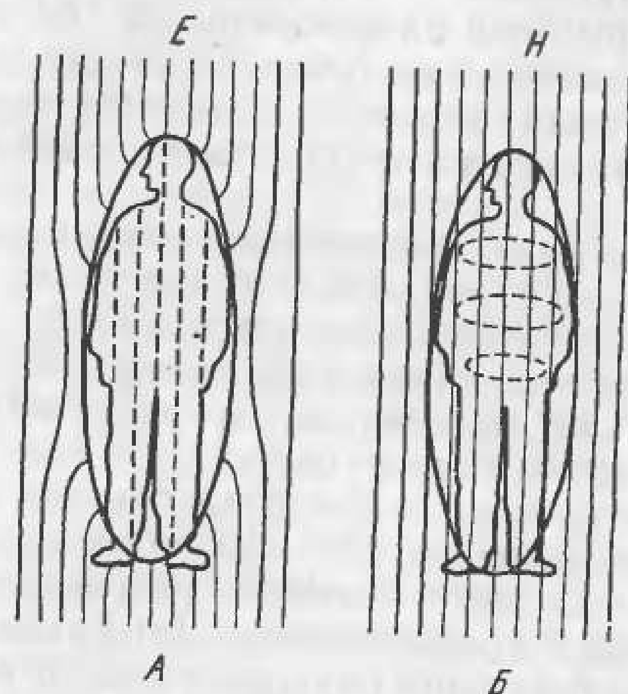


Рис. 16. Тело человека (эллипсоид) в однородном электрическом (*А*) и магнитном (*Б*) поле

Пунктир — направление индуцированных токов

В низкочастотном и высокочастотном диапазонах преобразование энергии ЭМП в тепловую связано в основном с потерями проводимости, возникающими за счет выделения в тканях джоулева тепла индуцированными в них ионными токами.

До частот порядка 10 *Мгц* размеры тела человека и крупных животных (а тем более мелких) малы по сравнению с длиной волны, а ткани тела можно рассматривать как проводящую среду. Поэтому выполняются условия квазистационарности и расчеты можно производить при помощи формул (26—28), выведенных для статического поля; мощность ЭМП, поглощаемая в единице объема тела, может быть в этом случае вычислена по законам постоянного тока:

$$P = i^2 \rho \ \textit{вт/см}^3. \qquad (29)$$

Величину плотности тока i следует вычислять применительно к форме и электрическим параметрам биологического объекта. Такой расчет (Пресман, 1957а, 1960а) для человека, находящегося в переменном электрическом или магнитном поле в диапазоне частот от 100 *кгц* до 1 *Мгц*, сделан при следующих допущениях:

1. Тело человека приближенно рассматривается как гомогенный (по электрическим свойствам) проводящий эллипсоид;

2. Рассматривается только однородное электрическое или магнитное поле, в котором тело (эллипсоид) расположено так, что его большая ось параллельна силовым линиям (рис. 16).

При этих условиях плотность тока в случае электрического поля равна

$$i_E = 1{,}3 \cdot 10^{-13} \cdot f \cdot E \ \textit{а/см}^2, \qquad (30)$$

а в случае магнитного поля

$$i_H = 1{,}3 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot H \quad a/см^2 \tag{31}$$

(E выражено в *в/м*, H — в *а/м*, f — в *гц*).

Количество тепла, выделяемое при этом в теле человека, будет определяться из соотношений:

$$Q_E = 2 \cdot 10^{-20} \cdot \rho_{ср} \cdot f^2 \cdot E^2 \ кал/мин, \tag{32}$$

$$Q_H = 2 \cdot 10^{-16} \rho_{ср} \cdot f^2 \cdot H^2 \ кал/мин \tag{33}$$

($\rho_{ср}$ — среднее удельное сопротивление тканей тела человека, которое в рассматриваемых диапазонах можно принять равным значению для мышечных тканей; см. табл. 2).

В диапазонах ультравысоких и сверхвысоких частот преобразование энергии ЭМП в тепловую связано уже не только с потерями проводимости, но и с диэлектрическими потерями. При этом доля диэлектрических потерь в общем поглощении энергии ЭМП в тканях возрастает с частотой. Так, например, потери, связанные с релаксацией молекул воды в тканях, при частоте 1 *Ггц* составляют около 50% от общих потерь, при частоте 10 *Ггц* — около 90% и при частоте 30 *Ггц* — около 98% (England, 1950).

В этих частотных диапазонах (выше 100 *Мгц*) размеры тела человека и крупных животных уже сравнимы с λ или превышают ее, а ткани тела уже нельзя рассматривать как проводящую среду; наконец, нельзя считать различные ткани гомогенными по электрическим свойствам. Иначе говоря, условие квазистационарности здесь не выполняется и необходимо рассматривать поток волн, часть которого отражается от поверхности тела, а остальная часть постепенно поглощается в электрически негомогенных тканях.

С учетом отражения мощность ЭМП, поглощаемая на 1 *см²* поверхности объекта, или действующая мощность ($P_д$) будет равна

$$P_д = P_0 \cdot (1 - K), \tag{34}$$

где P_0 — плотность потока мощности, падающая на поверхность объекта, K — коэффициент отражения.

Значения коэффициента отражения ЭМП разных частот от различных тканей при разных частотах (вычисленные по формуле 19) приведены в табл. 3, а глубина проникновения энергии ЭМП в глубь тканей (т. е. глубина, на которой энергия уменьшается в e раз) — в табл. 4 (Fleming et al., 1961).

Зависимость степени поглощения энергии ЭМП в биологическом объекте от размеров последнего можно оценить из приведенных выше расчетов (см. рис. 2) для полупроводящей сферы. Из этих расчетов вытекало, что при $R > \lambda$ в полупроводящей сфере поглощается примерно 50% мощности, падающей на по-

Таблица 3

Коэффициент отражения от границ раздела между тканями при различных частотах

Границы раздела	Частота, *Мгц*							
	100	200	400	1000	3000	10 000	24 500	35 000
Воздух — кожа . . .	0,758	0,684	0,623	0,570	0,550	0,530	0,470	—
Кожа — жир	0,340	0,227	—	0,231	0,190	0,230	0,220	—
Жир — мышцы . . .	0,355	0,3515	0,3004	0,2608	—	—	—	—

перечное сечение, независимо от σ вещества сферы. Расчеты (Anne et al., 1961) и эксперименты на моделях (Mermagen, 1961) показали, что это справедливо для биологических объектов любой формы в диапазоне частот от 300 *Мгц* до 3 *Ггц*. Но при $R<\lambda$ поглощаемая мощность зависит от электрических параметров объекта и при некоторых значениях $\frac{R}{\lambda}$ в нем поглощается больше энергии, чем падает на поперечное сечение.

Таблица 4

Глубина проникновения электромагнитных волн в различные ткани, *см*

Ткань	Частота, *Мгц*							
	100	200	400	1000	3000	10 000	24 000	35 000
Костный мозг	22,9	20,66	18,73	11,9	9,924	0,34	0,145	0.073
Головной мозг . . .	3,56	4,132	2,072	1,933	0,476	0,168	0,075	0,0378
Хрусталик глаза	9,42	4,39	4,23	2,915	0,500	0,174	0,0706	0,0378
Стекловидное тело	2,17	1,69	1,41	1,23	0,535	0,195	0,045	0.0314
Жир	20,45	12,53	8,52	6,42	2,45	1,1	0,342	—
Мышцы	3,451	2,32	1,84	1,456	—	0,314	—	—
Цельная кровь . . .	2,86	2,15	1,787	1,40	0,78	0,148	0,0598	0,0272
Кожа	3,765	2,78	2,18	1,638	0,646	0,189	0,0722	—

Зависимость характера поглощения от анатомического расположения тканей определяется главным образом толщиной подкожного жирового слоя и способом приложения ЭМП к объекту. Если воздействие производится путем помещения объекта между пластинами конденсатора, то в подкожном слое, имеющем более низкие значения ε' и σ, чем у глубже расположенных мышечных тканей, напряженность E будет выше, чем в

мышцах. Соответственно распределится и поглощаемая мощность ЭМП (Schwan, Piersol, 1954). Если производится облучение объекта волнами, то жировой слой может сыграть роль «трансформатора импедансов» между воздушной средой и мышечной тканью, что может привести к той или иной компенсации отражения волн и, следовательно, к соответствующему увеличению доли поглощаемой мощности. Этот эффект зависит от толщины жирового слоя, толщины слоя кожи и от частоты ЭМП. На рис. 17 показано, как изменяется доля поглощаемой энергии при вариации этих параметров (Shwan, Li, 1956б).

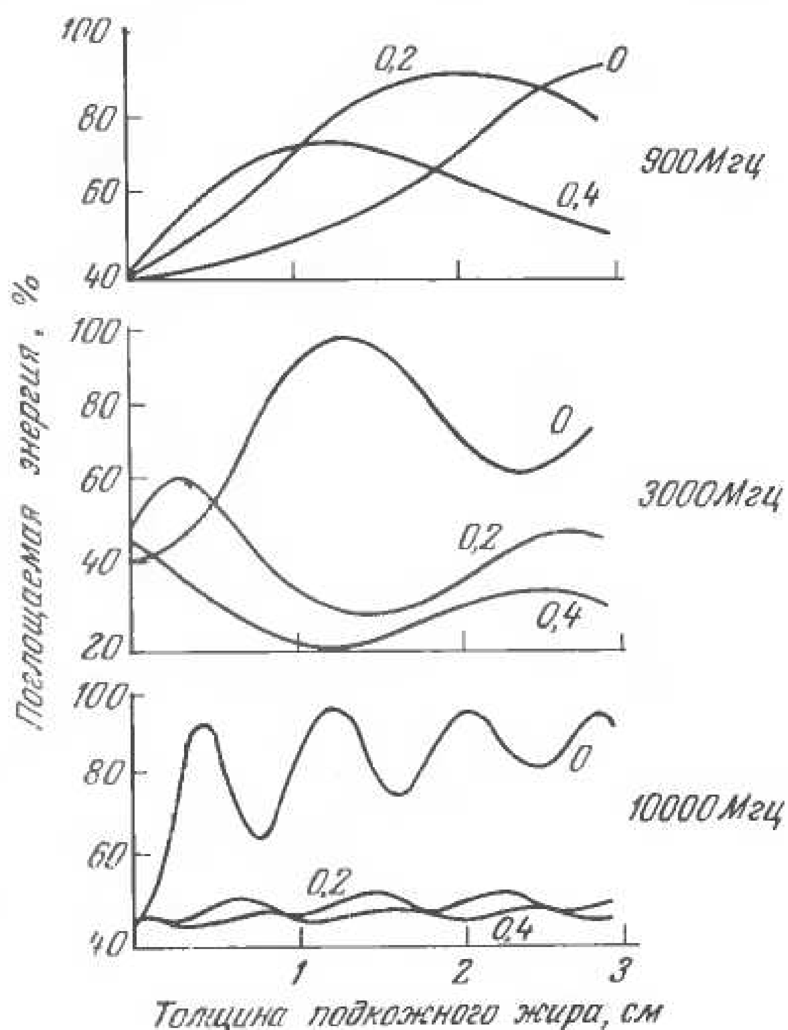


Рис. 17. Зависимость поглощения энергии СВЧ-полей разных частот в тканях животных от толщины подкожного жирового слоя при различной толщине кожи (указана на кривых)

Можно приближенно подсчитать процент поглощаемой энергии ЭМП в различных тканях тела, исходя из электрических параметров последних. Такой расчет проведен для облучения затылочной части головы человека, кролика и крысы ЭМП сверхвысоких частот (Пресман, 1965а). На рис. 18 приведены частотные характеристики относительного распределения поглощаемой энергии в различных слоях тканей головы.

До сих пор мы не учитывали еще одного физического процесса, от которого может зависеть относительное распределение поглощения энергии ЭМП в тканях живых организмов, а именно возникновения стоячих волн, в результате которого энергия, поглощаемая в том или ином слое тканей, может значительно возрасти по сравнению со случаем распространения волн в этой ткани. Стоячие волны могут возникнуть (в связи с отражениями на границах раздела тканей, имеющих различные электрические параметры) в тех случаях, когда толщина рассматриваемого слоя тканей сравнима с длиной волны (величина которой

в свою очередь зависит от электрических параметров ткани). Из табл. 5, в которой приведены значения длин волн в различных тканях (Fleming et al., 1961), видно, что такое соотноше-

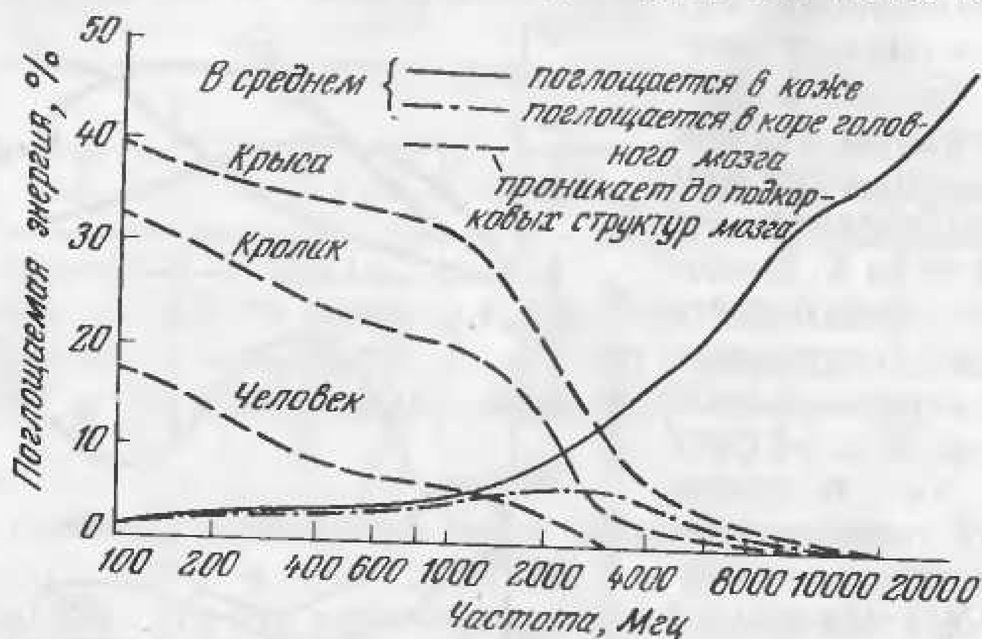


Рис. 18. Частотная зависимость поглощения энергии СВЧ-полей в структурах мозга человека, кролика и крысы при облучении головы

ние возможно в слоях тканей человека и крупных животных для ЭМП с частотами выше 3 *Ггц*.

Таблица 5

Длина волны в тканях при различных частотах, *м*

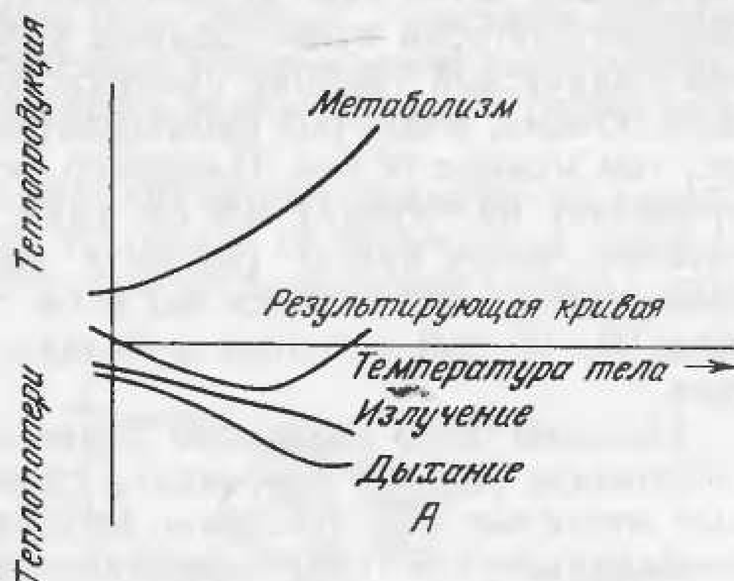
Ткань	Частота, *Мгц*							
	100	200	400	1000	3000	10 000	24 000	35 000
Костный мозг	116,1	62,2	32,19	12,63	3,97	1,250	0,368	0,388
Головной мозг . . .	31,7	19,4	11,16	4,97	1,74	0,595	0,200	0,201
Хрусталик глаза . .	33,15	22,3	12,53	5,28	1,75	0,575	0,200	0,201
Стекловидное тело	21,7	13,0	7,96	3,41	1,18	0,395	0,146	0,154
Жир	96,0	57,1	30,9	12,42	3,79	1,450	0,680	—
Мышцы	27,65	16,3	9,41	4,09	—	0,616	—	—
Цельная кровь . . .	25,15	15,35	8,89	3,87	1,36	0,449	0,214	0,167
Кожа	28,07	17,94	10,12	4,41	1,49	0,506	0,250	—

4.4. Тепловой эффект ЭМП в тканях живых организмов

Нагревание тканей тела животных и общее повышение температуры тела под действием ЭМП зависят не только от величины электромагнитной энергии, преобразующейся в тепловую,

но в значительной степени от терморегуляторных свойств организма.

У гомойотермных животных (птиц и млекопитающих) при данной температуре тела результирующая теплоотдача равна алгебраической сумме теплообразования за счет обменных процессов и теплопотерь за счет излучения, а также испарения при дыхании (а у человека и при потоотделении), как это показано на рис. 19, *А*. В интервале температур, при которых организм еще способен к терморегуляции,— между точками пересечения результирующей кривой с осью абсцисс — преобладают теплопотери, что ведет к восстановлению нормальной температуры тела.



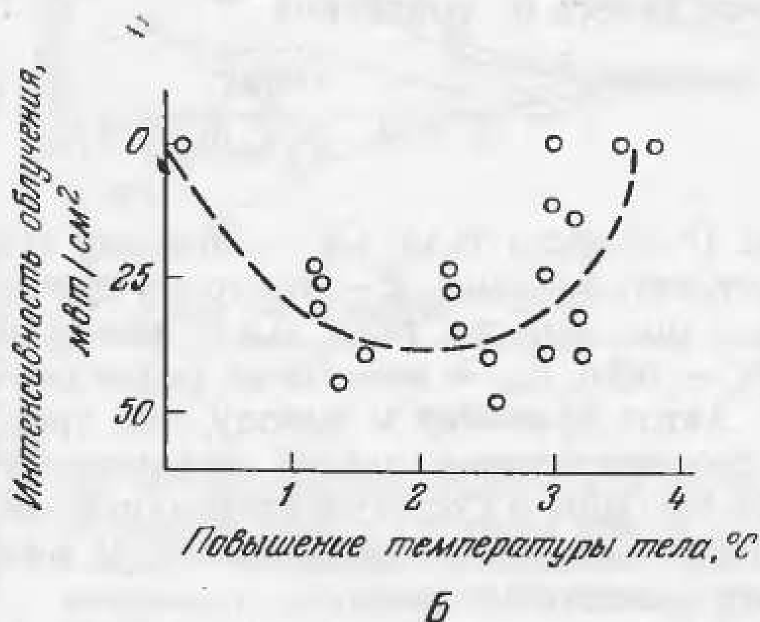


Рис. 19. *А* — характер теплообмена у гомойотермных животных в зависимости от температуры тела; *Б* — соотношение между интенсивностью общего облучения собаки СВЧ-полями и повышением температуры тела

При дальнейшем повышении температуры теплообмен может стать положительным и температура тела будет возрастать вплоть до гибельной.

Эти закономерности выявляются в опытах по облучению животных ЭМП сверхвысоких частот (Ely, Goldman, 1956а, 1956б), проводившихся в температурном интервале терморегуляции при автоматическом поддержании у животного заданной температуры (регулированием интенсивности облучения). На рис. 19, *Б* приведена результирующая кривая (подобная соответствующей кривой на рис. 19, *А*). Максимально возможное поглощение энергии, соответствующее максимуму теплопотерь, установлено при повышении температуры у крысы на 4,5°, у кролика на 3,5° и у собаки на 2,5°.

Эксперименты, проведенные с фантомами, имитирующими тело животных (Mermagen, 1961), показали, что с увеличением объема объекта требуется все большее время для нагревания его до заданной температуры при помощи ЭМП данной мощности. Это объясняется, во-первых, тем, что для нагревания большего объема нужно больше калорий, и, во-вторых, тем, что при одинаковой глубине проникновения энергии ЭМП в ткани доля объема, в которой происходит поглощение, будет тем больше, чем меньше объем. Например, если ЭМП с частотой 300 *Мгц* проникает на глубину 2,5 *см* (для мышечных тканей), то это означает, что у крысы (диаметр тела 5—6 *см*) энергия ЭМП поглощается практически во всем теле, а у собаки (диаметр тела 20—25 *см*) — только в незначительной поверхности части тела.

Недавно было проведено более детальное теоретическое исследование условий нагревания тканей тела человека и различных животных под действием микроволн (Hoeft, 1965). Время t, необходимое для повышения температуры тела на 5° ($\Delta T = 5°$), вычислялось из уравнения

$$t = \frac{GC_b\Delta T}{E + M - S_b\alpha_{ab}(\theta_{ab} + \Delta T)}, \qquad (35)$$

где G — масса тела, C_b — удельная теплоемкость, M — тепло за счет метаболизма, E — тепло за счет облучения микроволнами, S_b — поверхность тела, α_{ab} — коэффициент теплопередачи воздух — тело, θ_{ab} — начальная разница температур воздух — тело.

Автор приходит к выводу, что при очень больших значениях t, соответствующих малой интенсивности облучения, практически нет разницы в скорости нагревания животных разных размеров, но при больших интенсивностях (t мало) тело малых животных нагревается быстрее.

Значительное число экспериментальных исследований было посвящено выяснению зависимости теплообразования в тканях животных от интенсивности и времени воздействия ЭМП, а также выяснению характера распределения температуры в тканях (Пресман и др., 1961). Однако результаты большинства таких исследований были противоречивыми: в одних случаях отмечалось более значительное нагревание в глубоких тканях по сравнению с поверхностными, в других — противоположное распределение температуры, в третьих — наличие как положительного, так и отрицательного градиента температуры в зависимости от условий воздействия ЭМП. Основными причинами этих расхождений можно считать несовершенство дозирования поглощаемой мощности и несопоставимость ряда условий экспериментов.

В этом свете представляются убедительными результаты исследований с микроволнами, проведенных с более совершенной

методикой дозирования поглощаемой мощности[1] (Boyle et al., 1950; Cook, 1950a). На рис. 20 приведены графики нагревания тканей в бедре собаки, облучаемом микроволнами. Меньшее нагревание подкожного жирового слоя авторы объясняют малым поглощением энергии, а постепенное выравнивание температуры слоев — теплопроводностью тканей и отводом тепла в результате усиления кровотока.

Делались попытки теоретически оценить количество тепла, выделяющегося на заданном расстоянии от облучаемой поверхности, и рассчитать соответствующее повышение температуры (Cook, 1952a; Clark, 1950). Однако сравнение расчетных данных с экспериментальными показало приближенное соответствие только при малых продолжительностях облучения (Cook, 1950).

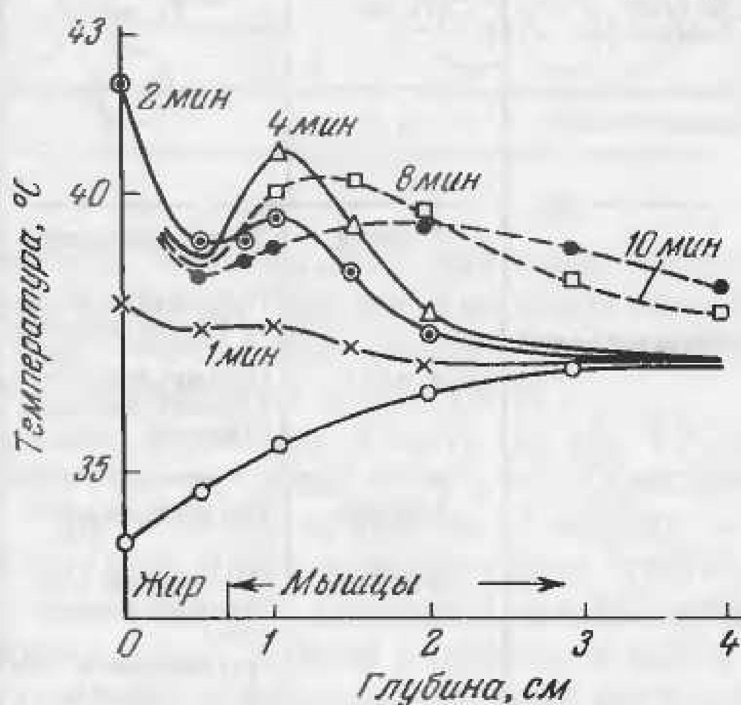


Рис. 20. Нагревание тканей на различной глубине от поверхности бедра собаки, облучаемого СВЧ-полями, при разной продолжительности облучения (указана на кривых)

Экспериментальная оценка пороговых интенсивностей ЭМП для теплового эффекта была проведена в различных частотных диапазонах при общем и локальном воздействии ЭМП на человека и животных. Границу теплового эффекта определяли по минимальному повышению температуры тела или тканей, не превышающему нормальных ее колебаний в организме. В качестве признака появления теплового эффекта у человека использовали также и минимальное теплоощущение. Кстати, было установлено (Mittelman, 1961), что зависимость между теплоощущением и мощностью ЭМП, поглощаемой в тканях (в диапазоне 20—200 *Мгц*), выражается соотношением:

$$H = \lg P - a \lg P_0, \quad (36)$$

где H — теплоощущение, оцениваемое по 4-балльной системе (едва ощутимое тепло, умеренное тепло, интенсивный нагрев, едва переносимый нагрев), P_0 — поглощаемая мощность, при которой ощущается едва заметное тепло, P — данная поглощаемая мощность, a — постоянная, не зависящая от частоты (хотя P_0 варьирует с частотой). Результаты разных оценок приведены в табл. 6.

[1] Эта методика описана в § 5.3.

Таблица 6

Пороговые интенсивности ЭМП для тепловых эффектов в тканях живых организмов

Диапазон ЭМП	Организм	Вид теплового эффекта	Пороговая интенсивность	Литературный источник
500 *кгц*	Крысы и кролики	Повышение ректальной температуры	8000 *в/м* 160 *а/м*	Никонова, 1964а
14,88 *Мгц* 69,7 *Мгц*	То же	То же	2500 *в/м* 200 *в/м*	Фукалова, 1964б
Дециметровый	»	» »	40 *мвт/см*^{2} (380 *в/м*)	Лобанова, 1964а
10-сантиметровый	Человек	Теплоощущение	10 *мвт/см*^{2}	Vendrik, Vos, 1958
		Нагревание в облучаемой области	10 *мвт/см*^{2} (190 *в/м*)	Пресман, 1957а
	Крысы	Повышение ректальной температуры	10 *мвт/см*^{2}	Лобанова, 1964а
3-сантиметровый	Человек	Теплоощущение	1 *мвт/см*^{2} (61 *в/м*)	Hendler, Hardy, 1960
	Крысы	Повышение ректальной температуры	5—10 *мвт/см*^{2} (135—190 *в/м*)	Гордон, Лобанова, 1960
	»	Нагревание в облучаемой области	1,5 *мвт/см*^{2} (75 *в/м*)	Мирутенко, 1964
Миллиметровый	»	Повышение ректальной температуры	7 *мвт/см*^{2} (170 *в/м*)	Лобанова, 1964а

Как видно из таблицы, пороговые интенсивности ЭМП уменьшаются с повышением частоты. Это и понятно, так как коэффициент поглощения электромагнитной энергии пропорционален частоте и величине электрических параметров σ и ε, которые в свою очередь изменяются с частотой.

В заключение следует отметить, что в работах, посвященных тепловому эффекту ЭМП, неоднократно обсуждалась возможность избирательного нагревания микрочастиц в биосредах, не сопровождающегося существенным нагреванием окружающей их среды. Однако теоретический анализ показал (Schwan, Piersol, 1954), что такое избирательное нагревание возможно только в том случае, если частицы достаточно крупны — не менее 1 *мк* в диаметре. Поэтому нет оснований рассчитывать на избирательное нагревание микрочастиц (клеток, бактерий) при отсутствии существенного нагревания среды, в которой они суспендированы.

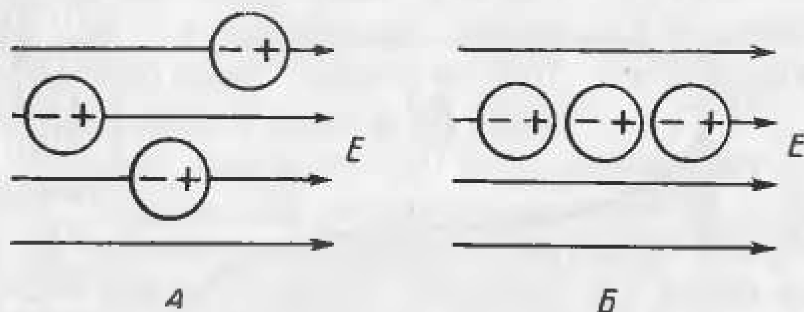
4.5. Нетепловые эффекты ЭМП в биосредах

В последние годы проведены экспериментальные и теоретические исследования некоторых интересных микропроцессов, протекающих под действием ЭМП.

Первый процесс такого рода состоит в том, что под действием непрерывных и импульсных ЭМП высоких и ультравысоких частот (1—100 *Мгц*) суспендированные частицы угля, крахмала и молока, эритроциты и лейкоциты выстраиваются в цепочки, расположенные параллельно электрическим силовым линиям. Для

Рис. 21. Ориентация малых частиц в ЭМП

А — при включении поля, *Б* — через некоторое время после включения поля



каждого типа частиц имеется оптимальный диапазон частот, в пределах которого эффект возникает при минимальной напряженности поля (Herrick, 1958; Heller, 1959; Heller, Teixeria-Pinto, 1959; Heller, Mickey, 1961; Wildervank et al., 1959).

Теоретические исследования показали (Satio et al., 1961а, 1961б; Furedi, Valentine, 1962; Furedi, Ohad, 1964), что формирование цепочек происходит в результате притяжения между частицами, в которых под действием ЭМП индуцируются дипольные заряды (рис. 21). В неполярной диэлектрической среде (масло) этот эффект возникает и при низких частотах и даже в электростатическом поле, но в воде и физиологическом растворе ионы и дипольные молекулы шунтируют поле низкой частоты и эффект возможен только при достаточно высоких частотах (выше десятков *Мгц*). Постоянная времени формирования цепочек пропорциональна кубу радиуса частиц (она равна 1 сек. при радиусе в 1 *мк*). Она мало зависит от E в слабых полях и обратно пропорциональна E^2 в сильных полях. В импульсных ЭМП эффект определяется средним значением E.

Несимметричные частицы ориентируются либо параллельно, либо перпендикулярно к направлению силовых линий. Это зависит от соотношения между удельной проводимостью частиц и окружающей их среды и от частоты ЭМП, как это показано на рис. 22 (для электрических параметров, близких к биологическим). Вопрос об условиях, при которых происходит параллельная или перпендикулярная ориентация, недавно подвергнут теоретическому анализу (Груздев, 1965).

Второй эффект — «диэлектрическое насыщение» в растворах белков и других биологических макромолекул под действием высокоинтенсивных ЭМП сверхвысоких частот — рассмотрен в гипотезе Швана (Schwan, 1958). Он предполагает, что под действи-

ем таких полей все поляризованные боковые цепи макромолекул ориентируются в направлении электрических силовых линий и что это может приводить к разрыву водородных связей и других вторичных внутри- и межмолекулярных связей и к изменению зоны гидратации (от которой зависит растворимость молекул). Такие эффекты могли бы вызывать денатурацию или коагуляцию молекул, что подтверждается экспериментально (Fleming et al., 1961).

Третий эффект, обусловленный действием сил Лорентца в переменных полях на ионы в электролите, теоретически и экспериментально исследован Хайнметсом и Гершманом (Heinmets, Herschman, 1961). Если раствор электролита находится под действием перпендикулярных друг другу и синфазно изменяющихся электрического и магнитного полей, то электрическое поле (в среднем по времени) не оказывает влияния на ионы, а под действием сил Лорентца и положительные и отрицательные ионы перемещаются в одном направлении — перпендикулярно направлению электрических силовых линий. Такого рода эффекты были экспериментально обнаружены. В растворе гемоглобина при $f = 60$ *гц*, $E = 10$ *в/см* и $H = 2000$ *э* (в амплитуде) окрашенная граница перемещалась со скоростью 0,36 *см/сек*. Авторы подчеркивают, что рассматриваемые эффекты зависят от суммы подвижностей ионов, а не от их разности (так, например, в эффекте Холла) и указывают на возможность возникновения такого эффекта под действием электромагнитной волны, распространяющейся в среде. При этом действию сил Лорентца в клеточной среде будут подвергаться не только ионы электролита, но и свободные метаболиты в ионизированной форме.

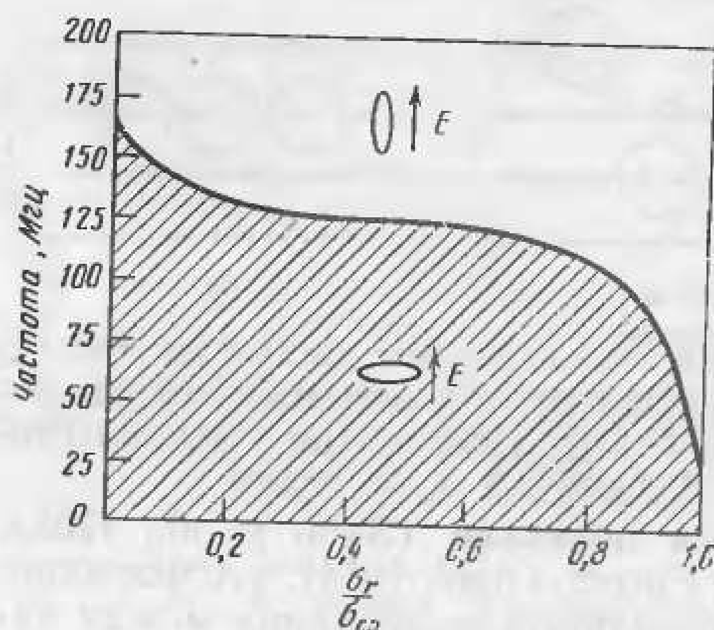


Рис. 22. Зависимость ориентации частиц с удельной проводимостью $\sigma_ч$, суспендированных в среде с удельной проводимостью $\sigma_{ср}$, от частоты воздействующего ЭМП и отношения $\sigma_ч/\sigma_{ср}$

Наибольший интерес представляют эффекты резонансного поглощения ЭМП различных частотных диапазонов в биологических средах.

Спектры поглощения и излучения различных веществ в широкой области частот — от сотен *гц* до десятков *Ггц* — изучает *радиоспектроскопия*. Исследуются энергетические переходы между близко расположенными уровнями энергии, к которым относятся

вращательные и инверсионные уровни молекул, зеемановское расщепление уровней электронов и атомных ядер во внешних и внутренних магнитных полях, уровни, образованные взаимодействием квадрупольных моментов ядер с внутренними электрическими полями, уровни сверхтонкой структуры атомов и молекул и др. (Физический энциклопедический словарь, 1965). Отсылая читателя по этому поводу к специальной литературе (Горди и др., 1965; Инграм, 1959; Робертс, 1961; Блюменфельд и др., 1962; «Свободные радикалы в биологии», 1963; Сетлоу и Поллард, 1964), остановимся только на рассмотрении некоторых теоретических соображений относительно резонансного поглощения ЭМП в тканях живых организмов in vivo и in vitro.

Недавно была теоретически рассмотрена возможность резонансного поглощения ЭМП белковыми молекулами в связи с так называемыми дисперсионными силами взаимодействия (Vogelhut, 1960; Prausnitz et al., 1961). Авторы исходят из того, что в белках, содержащих ряд нейтральных и отрицательно заряженных основных боковых групп, среднеквадратичная величина дипольного момента отлична от нуля, даже если их средний постоянный момент равен нулю. Это обусловливается тем, что (за исключением случая сильно кислотных растворов) число поляризованных боковых групп в белковой молекуле обычно превышает число связанных с ними протонов, так что существует множество возможных конфигураций распределения протонов в молекуле, мало отличающихся по свободной энергии. Для молекул ферментов, в предположении непрерывного распределения основных групп, среднее расстояние между группами составляет примерно 9,5 Å. С такими диполь-дипольными взаимодействиями, происходящими за счет флуктуаций распределения протонов, может быть связано поглощение кванта энергии, соответствующего частоте 10 *Ггц*. Авторы предположили, что такое резонансное влияние ЭМП на распределение протонов в молекуле фермента может привести к изменению скорости образования фермент-субстратного комплекса.

Возможность резонансного поглощения ЭМП макромолекулами обсуждалась и в связи с внутримолекулярными процессами Так, предполагается (Barber, 1961), что поглощение энергии ЭМП сверхвысоких частот может быть связано с вращением внутримолекулярных структур относительно С — С-связей с трансляционными переходами гидроксильных групп из одного положения с водородной связью в другое, с вращательными уровнями метастабильных состояний и т. д. Рассматривалась также возможность ионизационных эффектов ЭМП сверхвысоких частот, приводящих к формированию радикалов O_2 и OH при высоких импульсных мощностях (Tomberg, 1961). Эти общие предположения не получили пока еще убедительных экспериментальных подтверждений, хотя результаты некоторых исследований дают осно-

вания ожидать их в недалеком будущем. Так, например, исследования свойств некоторых кристаллических белков, пептидов и аминокислот в диапазоне 1 *Кгц* — 4 *Ггц* при температурах до 100° привели автора (Bayley, 1951) к заключению, что наблюдавшаяся дисперсия комплексной диэлектрической проницаемости обусловлена не только релаксацией полярных групп этих макромолекул, но и резонансным поглощением ЭМП.

Резонансное поглощение было непосредственно обнаружено в метилпальмитате ($C_{15}H_{31}COOH$) при измерении ε' и ε'' в широком диапазоне частот — от 50 *гц* до 30 *Ггц* (Jackson, 1949; Dryden, Jacson, 1948; Cook, Buchanan, 1950). В окрестности частоты 4 *Ггц* отмечается максимум $\operatorname{tg}\delta$ и плато кривой ε'. В пользу резонансного характера этого эффекта свидетельствовала независимость резонансной частоты от температуры раствора. Однако максимум $\operatorname{tg}\delta$ повышался с уменьшением температуры, что противоречило чисто резонансному эффекту. Авторы пришли к заключению, что наблюдавшийся эффект возникает не только за счет резонансного поглощения ЭМП молекулами метилпальмитата, но и в связи с какими-то процессами релаксационной поляризации.

Мы еще вернемся к вопросу о резонансном поглощении ЭМП макромолекулами и их ансамблями, когда будем обсуждать механизмы действия ЭМП на молекулярном уровне, исходя из результатов последних исследований в этом направлении (гл. 10).

В общем виде обсуждалась и возможность резонансного поглощения ЭМП во всем теле человека и животных или в отдельных частях тела. Так, например, эффект потери животными контроля над моторными функциями при воздействии ЭМП на область головы и позвоночника рассматривался с позиций возможного резонанса в краниальной полости или вдоль позвоночного столба (Leary, 1959).

Заканчивая на этом обзор физических основ проблемы биологической активности ЭМП, рассмотрим кратко некоторые технические аспекты этой проблемы, а именно методы оценки интенсивности воздействующих полей при гигиенических и экспериментальных исследованиях и технические способы защиты от неблагоприятного действия ЭМП разных частотных диапазонов.

Глава 5

ДОЗИМЕТРИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛЮДЕЙ И ЖИВОТНЫХ

Проблема дозиметрии ЭМП в биологических и медицинских исследованиях включает три основных вопроса:

1. Какие физические величины следует выбрать для оценки интенсивности воздействия ЭМП в зависимости от условий и задачи исследования?

2. Каковы соотношения между интенсивностью ЭМП, измеряемой в среде, окружающей живой объект, и «биологически эффективной» интенсивностью, обусловливающей непосредственное воздействие на последний?

3. Какими техническими способами и приборами можно измерять интенсивность ЭМП при воздействии на человека и в экспериментах с животными?

Рассмотрим эти вопросы применительно к ЭМП различных частот, начиная от «нулевой» — постоянного электрического и магнитного полей.

5.1. Дозиметрия статических полей

Так как у живых организмов $\mu = 1$, то значения напряженности постоянного магнитного поля, измеренные в среде, окружающей объект, можно принять за биологически эффективные. Измерение напряженности H можно проводить (в амперах на метр или эрстедах) при помощи *магнитометров* или *флюксметров* (Калашников, 1956; Яновский, 1964).

В экспериментальных исследованиях животных или объекты in vitro обычно помещают либо в зазоре между полюсными наконечниками электромагнита, либо внутри соленоида, питая эти устройства постоянным током. В этих случаях напряженность поля может быть и измерена, и вычислена. Следует обязательно учитывать степень однородности поля или оценивать величину его градиента в области нахождения объекта. Поле можно считать однородным в средней части соленоида вблизи его оси, а в зазоре между наконечниками в том случае, если он меньше диаметра сечения наконечников.

Напряженность электростатического поля во внешней среде, определяемую как отношение разности потенциалов между двумя точками к расстоянию между ними, измеряют при помощи *электрометров* с электрическим зондом (Калашников, 1956). Однако для оценки биологически эффективной напряженности следует учитывать искажение поля при помещении в него объекта. В общем случае эта задача довольно сложна. Приближенную оценку искажения можно получить, вычисляя дипольный момент, индуцируемый полем в проводящем теле (с удельной проводимостью живого объекта) правильной геометрической формы, близкой к форме рассматриваемого объекта (см. формулы 27 и 28).

В экспериментальных исследованиях объект помещают между пластинами конденсатора, к которым прикладывается постоянное напряжение. Напряженность поля может быть и измерена и вычислена (без объекта). Поле можно считать однородным, если размеры пластин превышают расстояние между ними.

5.2. Дозиметрия ЭМП от низких до ультравысоких частот

Оценку интенсивности ЭМП низких и высоких частот (примерно до десятков *Мгц*) и в производственных условиях, и в экспериментах с животными чаще всего приходится проводить в зоне индукции. А при этих условиях необходимо раздельно изме-

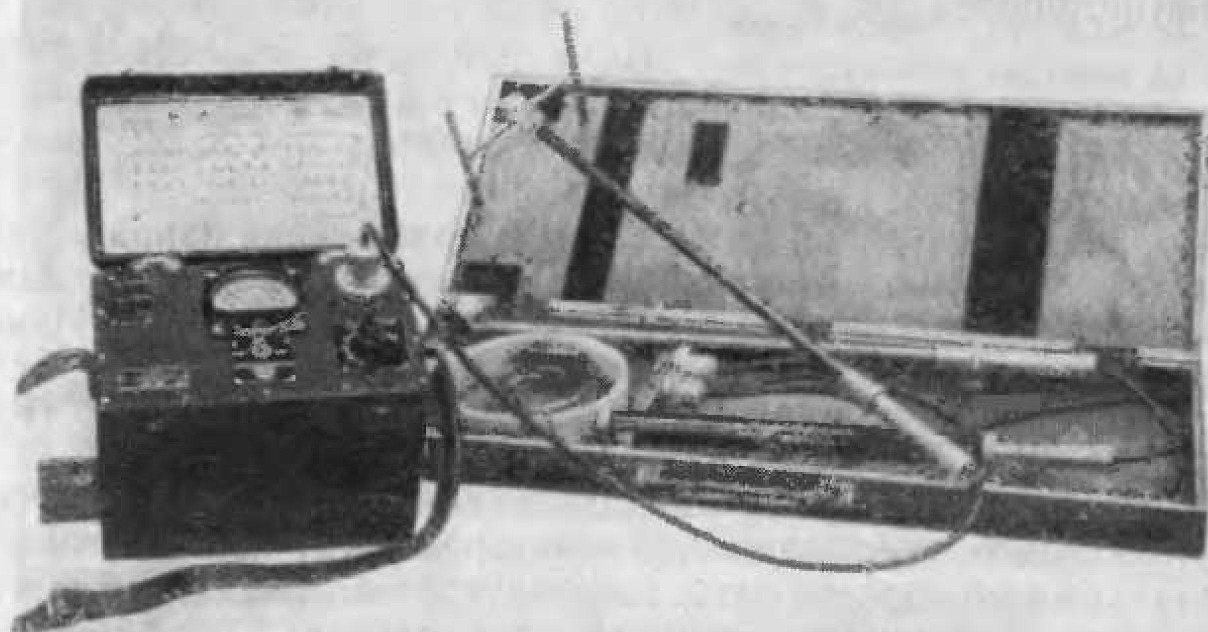


Рис. 23. Прибор ИЭМП-1 для измерения электрической и магнитной составляющих ЭМП в диапазоне частот от 100 *кгц* до 300 *Мгц*

рять величины напряженностей электрической и магнитной составляющих — E и H.

Прибор для измерения этих величин в принципе представляет собой вольтметр переменного тока, рассчитанный на исследуемый диапазон частот, соединенный с соответствующей антенной-витком для измерения H и штырем или диполем для измерения E. Измеряемые напряженности могут быть определены из соотношений

$$H = a\frac{V}{k_1 S}; \quad E = a\frac{V}{k_2 h}, \tag{37}$$

где V — измеряемое напряжение; a — коэффициент, зависящий от выбора единиц; k_1 и k_2 — коэффициенты, зависящие от формы и размера антенны; S — площадь сечения витка; h — длина штыря или диполя.

Однако создание таких приборов связано с рядом технических трудностей: во-первых, требуется перекрыть широкий диапазон частот и пределов измерений E и H, во-вторых, избежать

воздействия полей на вольтметр помимо антенны, в-третьих, избежать искажений, вносимых прибором в измеряемое поле. В той или иной степени эти трудности преодолены в специально разработанных отечественных приборах, охватывающих диапазон частот от 50 *гц* до десятков *Мгц* и имеющих пределы измерений для H от 0,5 до 500 *а/м* и для E от 5 до 1500 *в/м*. На рис. 23 показан внешний вид одного из таких приборов — ИЭМП-1 (Франке, 1957, 1958).

Для приближенной оценки искажений, вносимых крупными живыми объектами (линейные размеры которых больше λ), можно пользоваться приведенными выше формулами 27 и 28.

В экспериментальных исследованиях по воздействию переменного электрического поля биологический объект помещают между пластинами конденсатора, к которым прикладывается переменное напряжение заданной частоты. При этом следует учитывать и наличие магнитной составляющей ЭМП. Ее воздействием можно пренебречь в том случае, если размеры объекта и конденсатора малы по сравнению с длиной волны λ, соответствующей данной частоте.

В исследованиях по воздействию переменного магнитного поля биологический объект помещают внутрь соленоида, питаемого переменным током заданной частоты. Пренебречь воздействием электрической составляющей можно при тех же условиях, что и в предыдущем случае.

Следует подчеркнуть, что корректная постановка экспериментов с раздельным воздействием переменного электрического или магнитного поля связана с решением сложных методических и технических задач. Мы не будем здесь их рассматривать, а сошлемся для примера на исследования Соловьева (1962, 1963а).

5.3. Дозиметрия ЭМП сверхвысоких частот

Техника оценки интенсивности экспериментального облучения в СВЧ-диапазоне связана со специфическими трудностями. В этой области длины волн становятся уже сравнимыми с линейными размерами электрических цепей генераторов и с линейными размерами биологических объектов, а в ряде случаев и значительно превышают эти размеры. В связи с этим и элементы генераторов и приемников СВЧ-диапазона, и способы воздействия этими ЭМП на биологические объекты значительно отличаются от того, с чем приходится сталкиваться при более низких частотах (Турлыгин, 1952; Пресман, 1954а; Валитов, Сретенский, 1958). Мы укажем здесь только на те особенности техники СВЧ-полей, с которыми нам придется встречаться в дальнейшем при описании соответствующих биологических и медицинских исследований.

1. В СВЧ-диапазоне электромагнитные колебания создаются

не в колебательном контуре, состоящем из конденсатора и катушки самоиндукции, а в замкнутой металлической камере — *объемном резонаторе*.

2. Электромагнитная энергия может передаваться внутри *коаксиальных кабелей* или *волноводов* (металлических труб или диэлектрических стержней круглого и прямоугольного сечения), обладающих *волновым сопротивлением*, зависящим от геометрических параметров этих линий передачи.

3. Излучение электромагнитной энергии в виде волн может быть направленным, если в качестве излучателей применяются *рупоры* и *рефлекторы*.

4. При облучении на расстоянии часть энергии отражается от объекта. Но если объект является нагрузкой передающей линии и его полное сопротивление (импеданс) равно волновому сопротивлению линии, то в нем может поглощаться вся передаваемая энергия. В общем случае этого можно добиться, включая между объектом и линией *согласующее устройство* (трансформатор импедансов).

Оценку интенсивности воздействия СВЧ-полей на людей, участвующих в испытаниях и эксплуатации соответствующих генераторов, а также при дистанционном облучении объектов в эксперименте, проводят по *интенсивности облучения p*, выражаемой в величинах плотности потока мощности обычно в *мвт/см²*) (Пресман, 1956б, 1957б; Schwan, Li, 1956б, и др.).

Для сравнения условий воздействия СВЧ-полей и более низкочастотных полей Кнорре (Кнорре, 1960) предлагает пересчитывать значения p, E и H к величине объемной плотности энергии электромагнитного поля (в *эрг/см³*) по известным формулам:

$$W_E = \frac{10^{-8}}{72 \cdot \pi} \cdot E^2; \; W_H = 2\pi \cdot 10^{-6} \cdot H^2; \qquad (38)$$

$$W_{СВЧ} = 3{,}3 \cdot 10^{-4} \cdot p.$$

Приборы для измерения интенсивности облучения в СВЧ-диапазоне построены по принципу преобразования энергии СВЧ-полей (после ее калиброванного ослабления) в постоянный ток (при помощи термистора или кристаллического детектора), величина которого и служит мерой интенсивности.

В СССР и за рубежом разработан ряд приборов подобного типа (Пресман, 1954б, 1957б; Осипов, 1965; Hirsch, 1956; Mumford, 1961; Vogelman, 1961, и др.). На рис. 24 показаны образцы отечественного и зарубежного приборов, рассчитанных на широкий диапазон частот.

Во многих экспериментальных исследованиях по облучению животных при помощи излучателей различного типа (рис. 25) относительную дозировку интенсивности облучения производили по общей излучаемой мощности и расстоянию от излучателя до

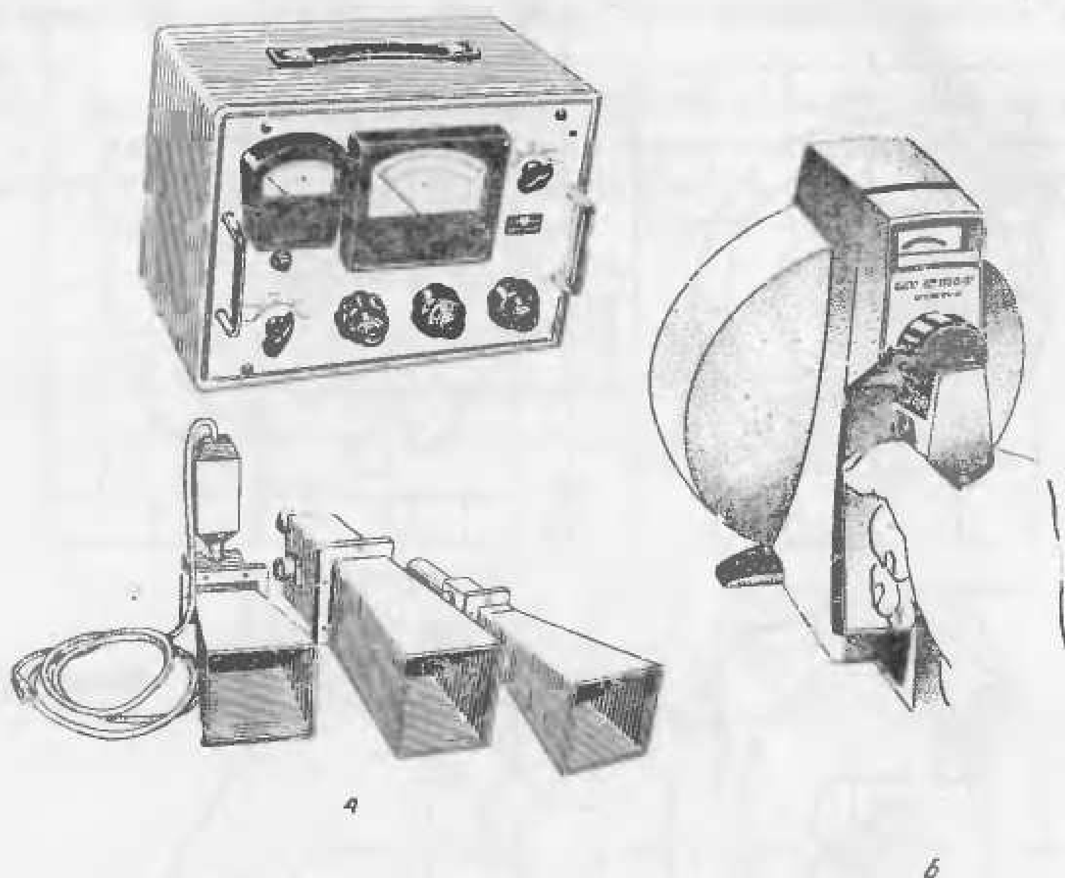


Рис. 24. Приборы для измерения интенсивности облучения в СВЧ-диапазоне

А — «Медик» (150—16700 *Мгц*), *Б* — Б86В1 (200—10 000 *Мгц*)

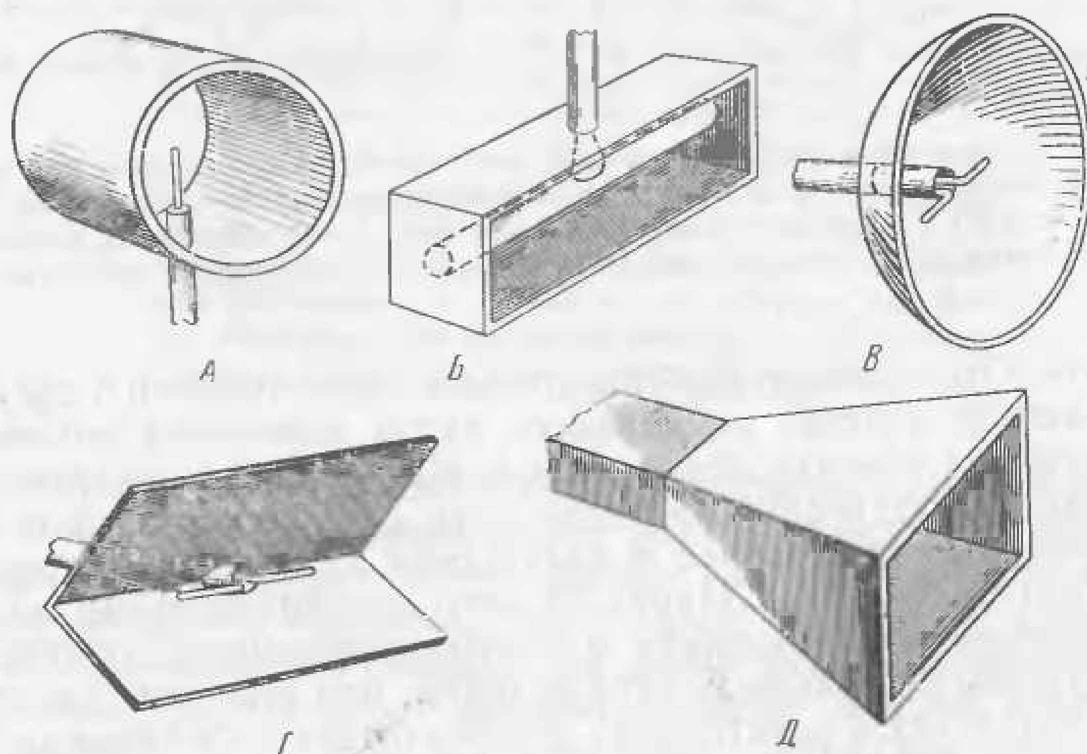


Рис. 25. СВЧ-излучатели, применяемые в физиотерапии и биологических исследованиях

А — круглый волноводный, *Б* — прямоугольный волноводный, *В* — с полусферическим отражателем, *Г* — с уголковым отражателем, *Д* — рупорный прямоугольный

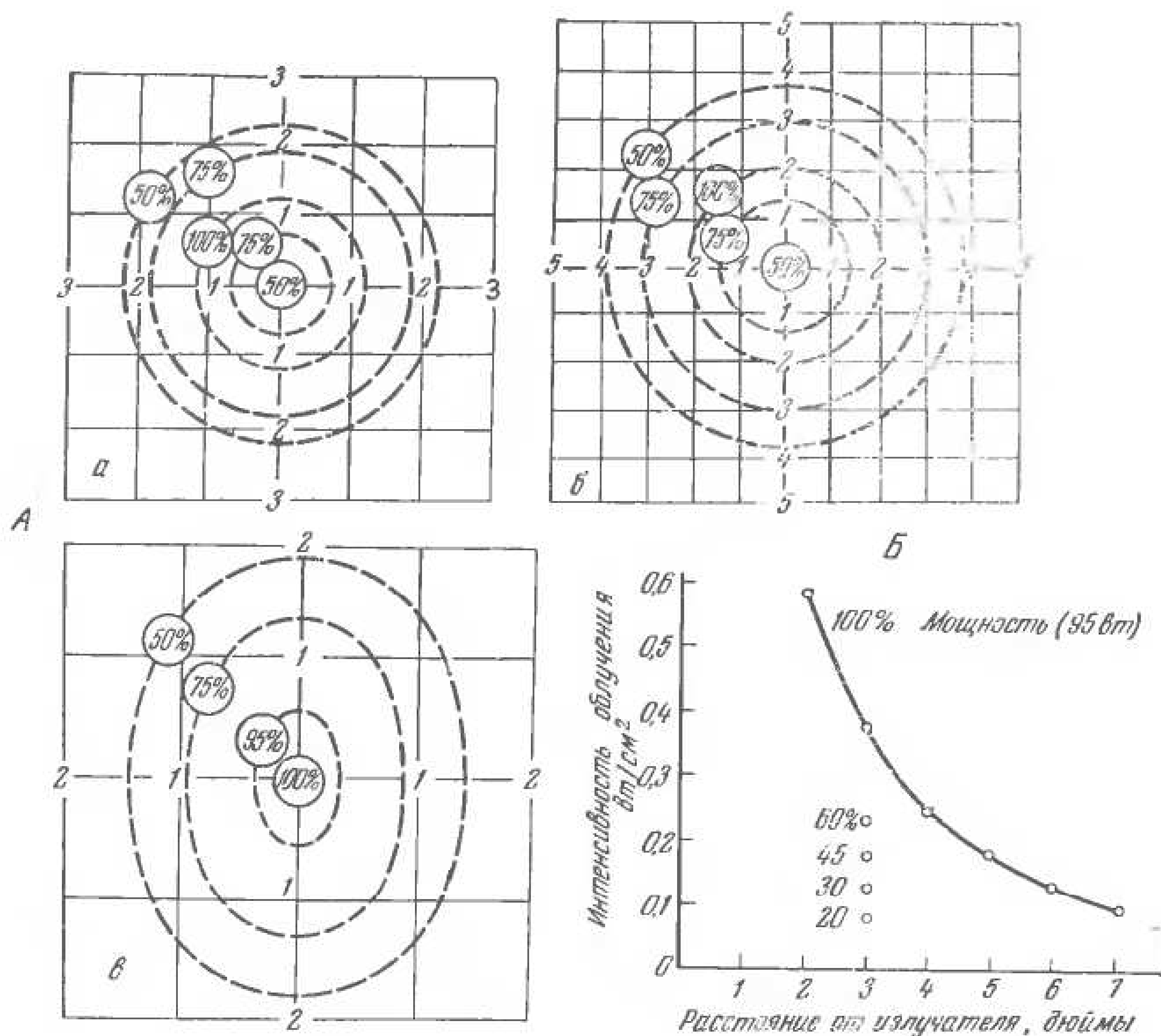


Рис. 26. *А* — распределение интенсивности облучения СВЧ-полями при использовании излучателей: с полусферическими отражателями диаметров 10,2 и 15,2 *см* (*а* и *б*) и с уголковым отражателем (*в*); *Б* — зависимость интенсивности облучения от расстояния между уголковым излучателем и объектом

объекта. Относительное распределение интенсивности в пределах облучаемого участка оценивалось путем измерения повышения температуры поверхностных тканей. На рис. 26, *А* показаны диаграммы распределения интенсивности для излучателей с полусферическим отражателем и излучателя с уголковым отражателем (Ral et al., 1949). Наряду с этим сделана попытка оценить плотность потока мощности в центре поверхности, облучаемой излучателем с уголковым отражателем, при различных излучаемых мощностях и расстояниях от излучателя до облучаемой поверхности (рис. 26, *Б*) (Hirsch, 1956). Подобного рода относительная дозировка применяется и при использовании СВЧ-генераторов в физиотерапии. Однако в последнее время разработаны более совершенные методы (Ливенсон, 1962. 1963).

Предложены некоторые методы облучения объектов в СВЧ-

диапазоне, обеспечивающие полное поглощение дозируемой мощности.

Один из них основан на применении волноводной или коаксиальной линии передачи, которая включает устройство (трансформатор импедансов), согласующее полное сопротивление

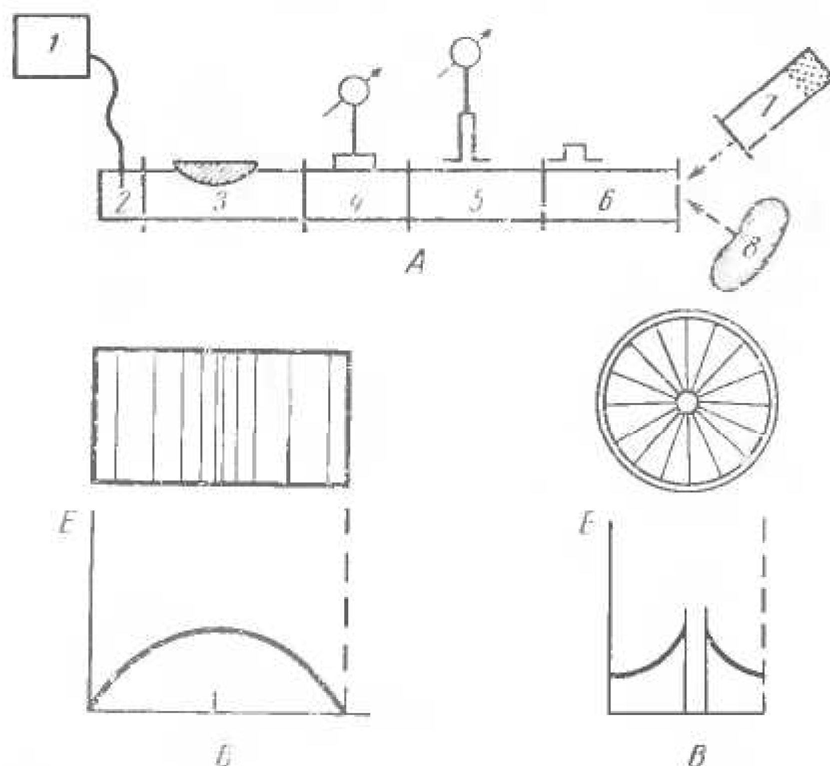


Рис. 27. А — схема устройства, обеспечивающего поглощение в объекте СВЧ-мощности, передаваемой по волноводной или каоксиальной линии, Б и В — диаграммы распределения электрического поля в волноводе и коаксиальной линии

1 — генератор, 2 — переход от кабеля к волноводу, 3 — аттенюатор, поглощающий заданную долю мощности, 4 — измеритель мощности, передаваемой по линии, 5 — измерительная линия, контролирующая степень отражения СВЧ-энергии от объекта, 6 — согласующее устройство, компенсирующее отражение энергии, 7 — волноводная камера, содержащая объект in vitro, 8 — живой объект

объекта (нагрузки) с волновым сопротивлением линии, и устройство, позволяющее контролировать это согласование и измерять передаваемую в объект СВЧ-мощность (Seguin, Castelain, 1947a; Boyle et al., 1950; Пресман, 1957в, 1958a; Mermagen, 1961). На рис. 27 приведена принципиальная схема подобной конструкции и показано распределение интенсивности по сечению волновода или коаксиальной линии. СВЧ-мощность, передаваемая по линии, может быть поглощена либо в объекте in vitro, помещенном внутри волноводной или коаксиальной линии, либо в тканях прижатого к открытому концу линии участка тела человека или животного. Образцы коаксиальной и волноводных камер для облучения in vitro показаны на рис. 28.

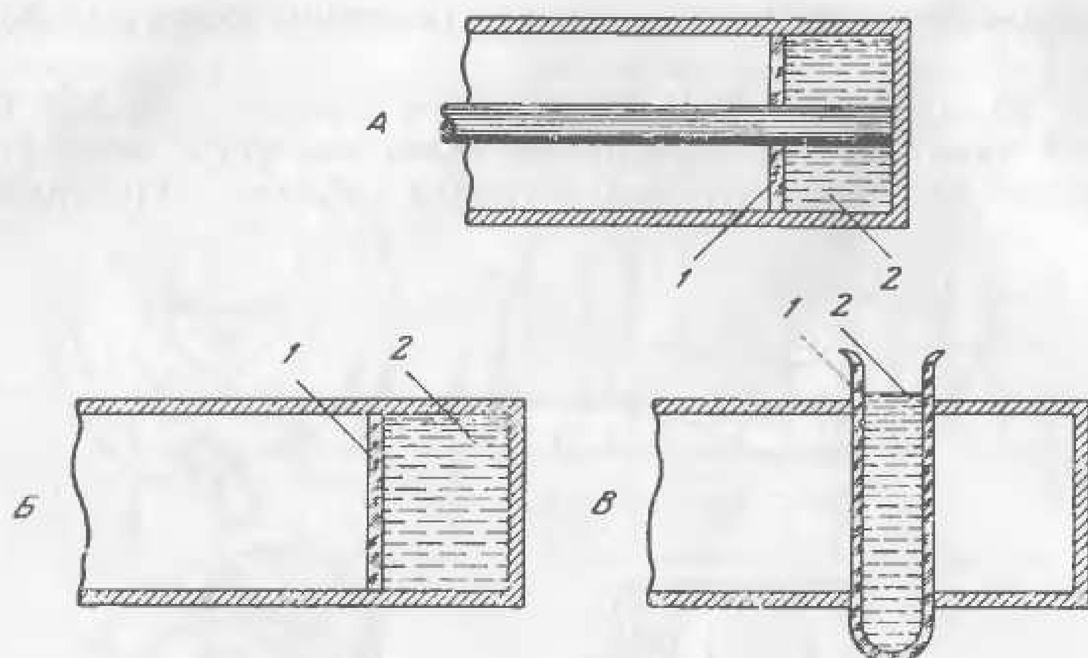


Рис. 28. Коаксиальная (*А*) и волноводные (*Б* и *В*) камеры для подведения к объекту in vitro СВЧ-мощности с помощью устройства, изображенного на рис. 27

1 — полистирол, *2* — объект

С меньшей точностью дозировки поглощаемой СВЧ-мощности этот метод применим и в экспериментах с облучением одной из сторон тела животного — дорсальной (со стороны спины) или вентральной (со стороны живота). В этом случае животное среднего размера (кролик) или группу мелких животных (крыс, мышей) помещают в специальной камере под рупором (или над ним), присоединяемым к описанной линии передачи. На рис. 29 показано такое устройство для кролика (Пресман, 1958а, 1960б).

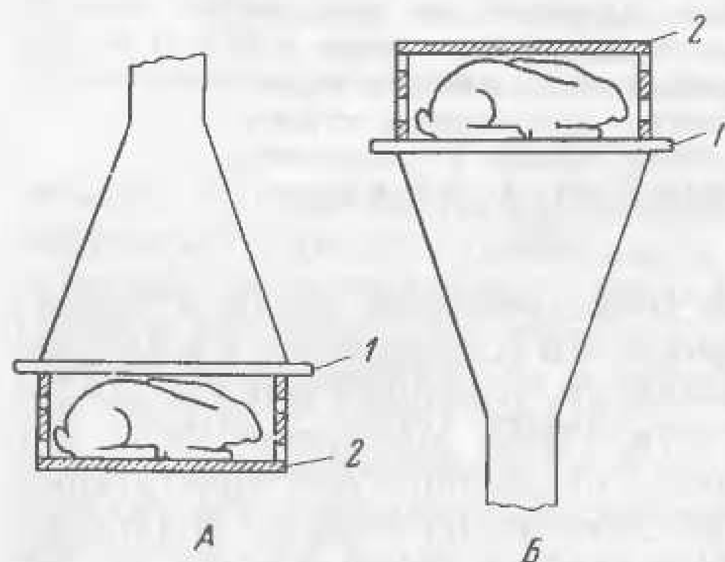


Рис. 29. Устройство для дозируемого СВЧ-облучения кролика с дорсальной (*А*) и вентральной (*Б*) стороны

1 — пластина из полистиролового пенопласта, *2* — камера для животного

Примером метода, обеспечивающего поглощение СВЧ-мощности во всем теле животного, может служить помещение кролика внутрь волновода (при частоте 350 *Мгц*) и измерение разности между входящей в волновод и выходящей из него СВЧ-мощностями (Boysen, 1953).

Наконец, теоретически рассматривалась возможность облучения животных, помещаемых в объемный резонатор (Елисеев, 1964).

Однако этот метод пока не нашел практического применения ввиду значительных технических трудностей, хотя и был успешно использован в экспериментах с малыми образцами биологических материалов (Schow, Windell, 1950; Bayley, 1951).

5.4. Экспериментальные исследования в процессе воздействия ЭМП

Проведение экспериментальных исследований непосредственно в процессе воздействия ЭМП связано со значительными методическими трудностями, особенно в микроволновом диапазоне



Рис. 30. Устройство для измерения температуры поверхностных тканей на участке тела человека, облучаемом СВЧ-полями

1 — измерительная линия, 2 — согласующее устройство, 3 — прямоугольный рупор-облучатель, 4 — гальванометр термопары

(СВЧ). Мы рассмотрим только некоторые примеры техники физиологических исследований в процессе облучения микроволнами.

Трудность измерения температуры тела человека и животных в процессе воздействия ЭМП обусловлена тем, что ртутные термометры и термопары, а также термисторные измерители нагреваются за счет непосредственного поглощения в них энергии ЭМП. В ранних исследованиях (Esay et al., 1936) для измерения температуры в процессе УВЧ-облучения пользовались бензольными термометрами, так как бензол практически не поглощает энергии этих полей. Однако в последнее время для таких измерений стали применять и термисторы (Ely, Goldman, 1956), и термопары (Boyle et al., 1950; Пресман, 1957в), располагая отводящие провода перпендикулярно электрическим силовым линиям воздействующего ЭМП. На рис. 30 показан общий вид разрабо-

танной нами установки для измерения поверхностной температуры на участке тела человека в процессе облучения микроволнами по описанному ранее «контактному методу» при помощи волноводной линии (см. рис. 27, *А*). Термопара расположена в центре отверстия оконечного рупора, к которому прижимают облучаемый участок тела. Отводящие провода термопары перпендикулярны электрическим силовым линиям в сечении рупора

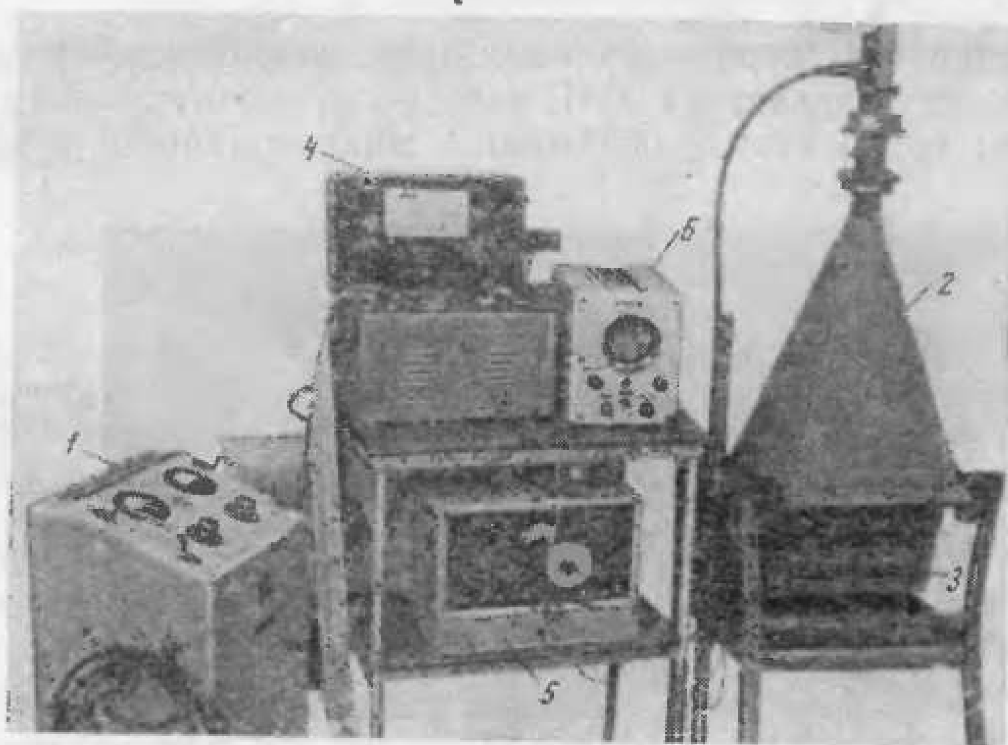


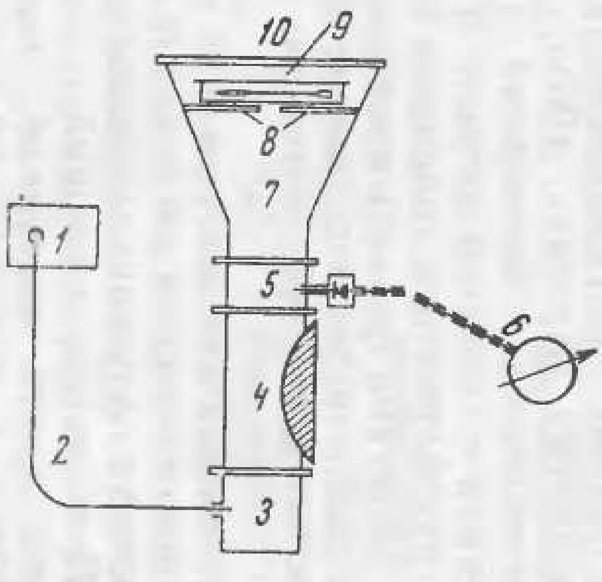
Рис. 31. Установка для регистрации ЭКГ и определения порога возбудимости нервно-мышечного аппарата у кролика в процессе облучения СВЧ-полями

1 — генератор СВЧ, *2* — рупор-облучатель, *3* — камера с животным, *4* — электрокардиограф, *5* — генератор раздражающих импульсов, *6* — осциллограф для индикации мышечных сокращений

(см. рис. 27, *Б*). Опыт показал, что в этом случае непосредственное действие микроволн на термопару практически отсутствует.

Разработаны (Пресман, 1962а) специальные экспериментальные установки, позволяющие проводить в процессе облучения микроволнами некоторые физиологические исследования с животными и изолированными органами, а также измерения in vitro.

Установка, показанная на рис. 31, позволяет вести регистрацию электрокардиограммы (ЭКГ) и определять порог электровозбудимости нервно-мышечного аппарата у кролика в процессе облучения дорсальной стороны его тела микроволнами (в диапазоне частот 2,5—3,75 *Ггц*). Дозируемое облучение осуществляется по описанной выше методике (см. рис. 29). Регистрация ЭКГ проводится от электродов-манжет на лапах у свободно лежащего в камере животного. Экранировка проводов, ведущих к



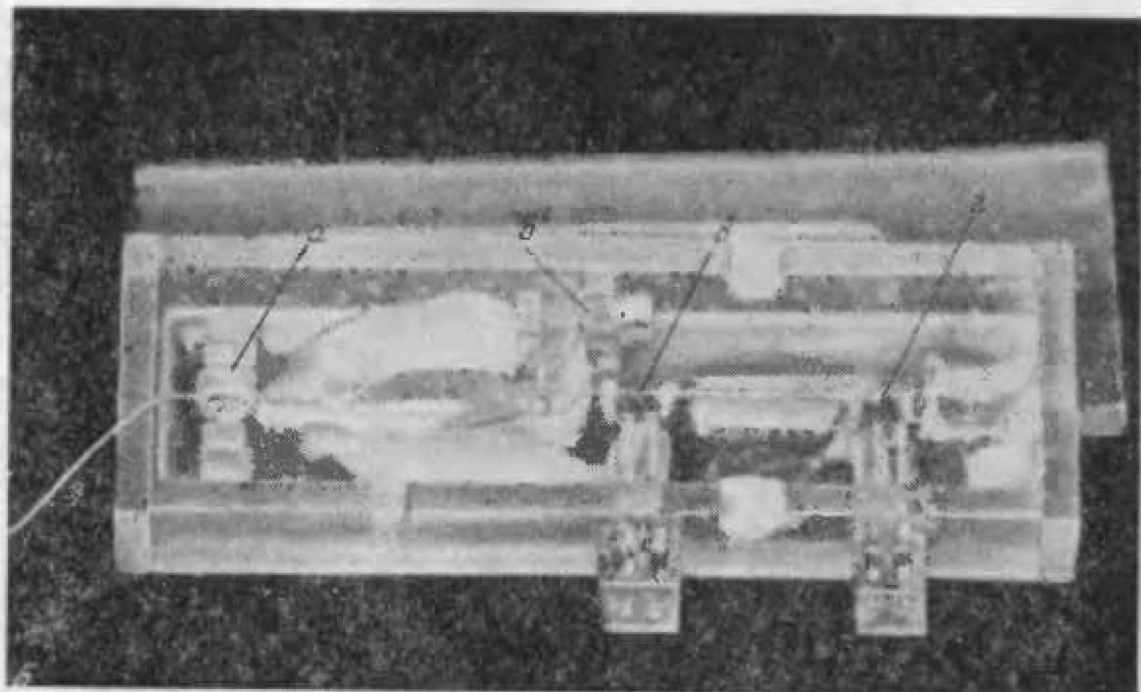


Рис. 32. *А* — установка для измерения порога возбудимости нервно-мышечного препарата лягушки в процессе облучения СВЧ-полями; *Б* — камера для нервно-мышечного препарата

1 — генератор СВЧ, *2* — кабель, *3* — соединитель кабеля с волноводом, *4* — аттенюатор, *5* — измеритель мощности, *6* — гальванометр, *7* — рупор-облучатель, *8*, *9* и *10* — поглощающие пластины; *а* — блок для закрепления мышцы, *б* — тисочки для закрепления отрезка бедренной кости, *в* — отводящие электроды, *г* — раздражающие электроды

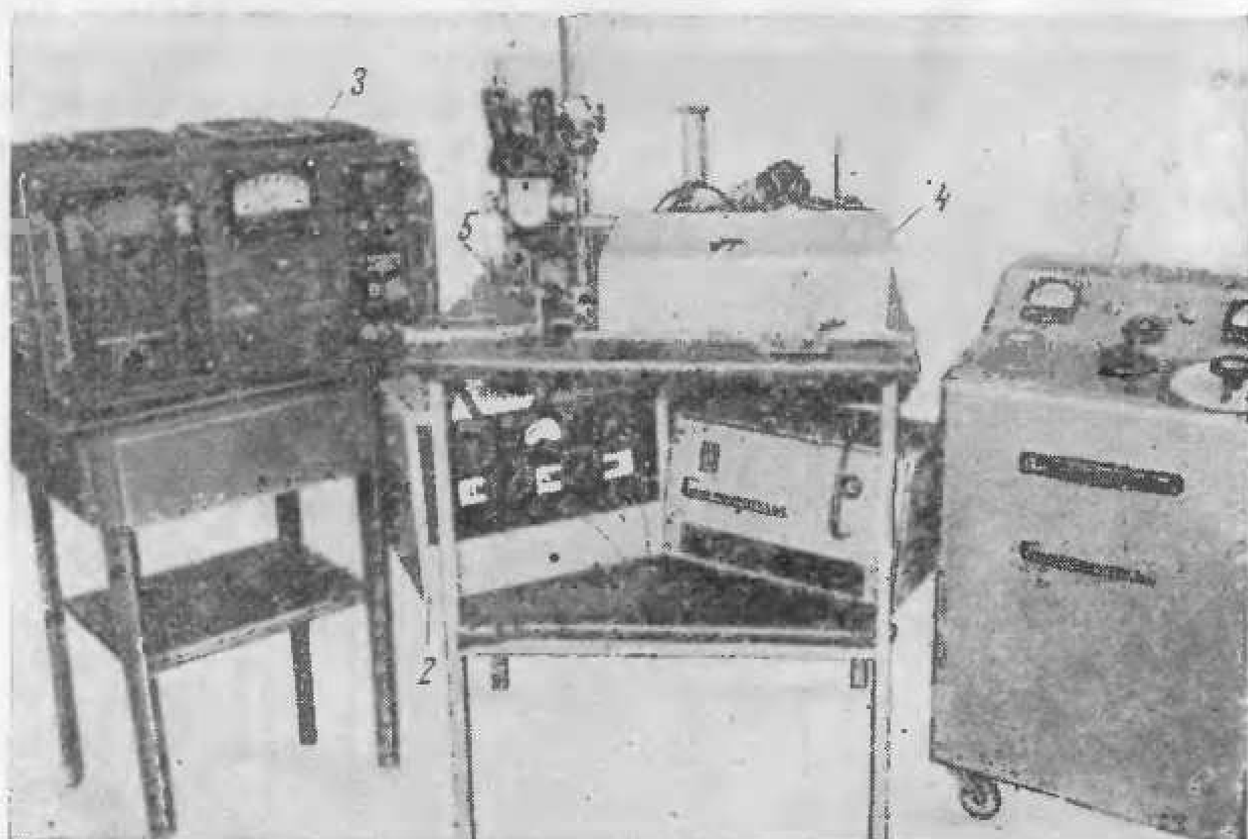


Рис. 33. Установка для исследования двигательной реакции парамеций на импульсы СВЧ-полей или на импульсы постоянного и переменного тока в процессе облучения СВЧ-полями

1 — генератор СВЧ, 2 — генератор импульсов постоянного тока, 3 — генератор импульсов переменного тока, 4 — защитный кожух от СВЧ-полей, 5 — коаксиальная камера для облучения парамеций

электродам, и показанное расположение камеры с животным, генератора микроволн и электрокардиографа вполне обеспечивают защиту от наводок на ЭКГ в процессе облучения. Индикация мышечных сокращений при раздражении двигательной точки (прямоугольными импульсами тока) осуществляется по специально разработанному методу (Пресман, 1963а): в области двигательной точки приклеивается миниатюрный ларингофон, последовательно соединенный с батареей питания и первичной обмоткой повышающего трансформатора, вторичная обмотка которого (через полосовой частотный фильтр) присоединена к осциллографу. Такой метод обеспечивает определение порога электровозбудимости с точностью ±15% (с учетом его физиологических вариаций).

На рис. 32 показана установка для исследования электровозбудимости нервно-мышечного препарата лягушки (n. ischiadicus и m. gastrocnemius) в процессе облучения микроволнами (Пресман, Каменский, 1961). Препарат, помещенный в полистироловую камеру, располагают в рупоре так, что облучается только участок нерва, находящийся над щелью между поглощающими

пластинами. Раздражающие и отводящие электроды защищены от облучения поглощающими пластинами. Это обеспечивает регистрацию биотоков с нерва (или мышцы) в процессе облучения микроволнами без каких-либо наводок.

В связи с обнаружением специфической двигательной реакции парамеций на различного рода электромагнитные раздражения (Пресман, 1963б, 1963в) возникла необходимость воздействия на парамеции импульсами микроволн, а также импульсами переменного и постоянного тока на фоне облучения микроволнами. На рис. 33 показана установка, разработанная для этих целей (Пресман, Раппепорт, 1965). Парамеции (в сенном настое) облучаются в коаксиальной камере, которая обеспечивает возможность проводить во время облучения и раздражение импульсами постоянного или переменного тока, ведя визуальное наблюдение за поведением инфузорий при помощи бинокулярного микроскопа.

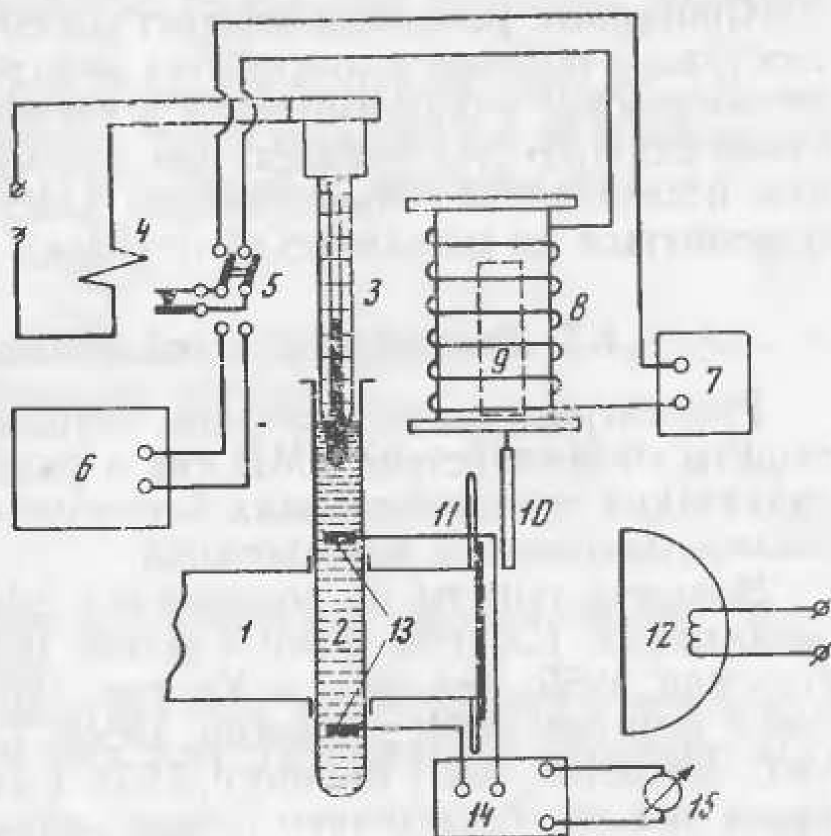


Рис. 34. Схема установки для сравнительного исследования электропроводности жидких биосред при облучении СВЧ-полями и инфракрасными лучами

1 — волновод, *2* — пробирка с объектом, *3* — контактный термометр, *4* — нормально замкнутое реле, *5* — включение генератора СВЧ (*6*) или инфракрасного облучателя (*12*), *7* — питание индукционной катушки, *8, 9* — железный стержень, *10* и *11* — щитки от инфракрасных лучей, *13* — электроды, *14* — прибор для измерения электропроводности, *15* — гальванометр

Установка, показанная на рис. 34, предназначена для измерения электропроводности жидких образцов (например, белковых растворов) в процессе облучения либо микроволнами, либо инфракрасными лучами при автоматическом регулировании постоянного уровня температуры (Пресман, 1961, 1963 г.). Облучается часть пробирки, находящаяся внутри волноводной линии, причем облучение инфракрасными лучами ведется через открытое отверстие волновода, а микроволнами — при отверстии, закрытом металлической пластиной. Температура нагревания инфракрасными лучами регулируется посредством закрывания и открывания отверстия щитком *10* при помощи электромагнитного устройства *8* и *9*; это устройство

включается и выключается контактным термометром *3*, головка которого погружена в раствор в части пробирки, находящейся вне волновода и защищенной от облучения щитком *11*. При облучении микроволнами температура раствора регулируется включением и выключением генератора микроволн при помощи реле *5* и контактного термометра. Электроды для измерения электропроводности расположены в пробирке вне волновода и, следовательно, не подвергаются облучению.

Описанные установки следует рассматривать только как иллюстрации подхода к разработке методов и аппаратуры для физиологических и биофизических исследований в процессе воздействия ЭМП. В дальнейшем, при рассмотрении экспериментальных исследований биологического действия ЭМП, будет кратко описываться их методическая сторона.

5.5. Методы и средства защиты от ЭМП

Рассмотрим кратко основные методы и технические средства защиты от воздействия ЭМП как в условиях производства и эксплуатации соответствующих источников, так и при проведении экспериментальных исследований.

Вопросы защиты от воздействия ЭМП рассмотрены в ряде монографий (Осипов, 1965; Гордон, 1966) и статей (Гордон и Пресман, 1956; Белицкий и Кнорре, 1960; Пресман, 1958б; Гордон и Елисеев, 1964; Ливенсон, 1964б; Lang, Koller, 1956; Egan, 1957; Reynolds, 1961; Mumford, 1961, и др.). Поэтому мы ограничимся только обсуждением общих принципов защиты и некоторыми примерами их технического осуществления.

1. Методы защиты можно разделить на пассивные и активные. К первым относятся такие меры, как сокращение времени пребывания людей в зоне воздействия ЭМП, расположение рабочих мест на достаточно больших расстояниях от источника ЭМП, автоматизация работ с источниками ЭМП или дистанционное управление ими и т. п. Ко вторым относится применение разнообразных технических средств, позволяющих уменьшить интенсивность воздействия ЭМП до предельно допустимых величин, определяемых специальными санитарными правилами[1]; такие технические средства делятся на две группы: защитные приспособления у источника ЭМП и индивидуальные средства защиты (одежда, очки и т. д.) для персонала, обслуживающего генераторы ЭМП.

2. Для уменьшения интенсивности ЭМП у их источников применяют:

а) замену элементов, создающих ЭМП в окружающем про-

---

[1] См., например, «Временные санитарные правила при работе с генераторами сантиметровых волн» в сб. «О биологическом воздействии СВЧ». Изд. Ин-та гигиены труда и профзабол. АМН СССР. М., 1960, стр. 121—127.

странстве, специальными поглотителями электромагнитной энергии. Например, вместо антенн включают так называемые «эквиваленты антенн» разных типов;

б) экранирование источников ЭМП путем помещения их в замкнутую камеру, изготовленную либо из листового металла, либо из проволочной сетки. В случае направленного излучения ЭМП (что часто имеет место в СВЧ-диапазоне) применяют и незамкнутые экраны, выложенные со стороны излучения поглощающим материалом.

Степень ослабления интенсивности ЭМП за счет экранирования можно оценить расчетным путем по величине *эффективности экранирования Э*; для ЭМП с частотой до десятков *Мгц*

$$Э_E = \frac{E_0}{E_э}; \quad Э_H = \frac{H_0}{H_э}, \qquad (39)$$

где индексы «0» и «э» указывают соответственно на напряженность без экрана и при наличии экрана.

Для СВЧ-диапазона

$$Э_{СВЧ} = \frac{P_0}{P_э}, \qquad (40)$$

где P_0 — плотность потока мощности без экранирования, $P_э$ — то же, при экранировании.

При частотах ниже десятков *Мгц* величина *Э* для замкнутой экранирующей камеры может быть рассчитана по формуле (Шапиро, 1955):

$$Э = (1{,}26 \cdot 10^{-7} \cdot Rf) \cdot Э_1, \qquad (41)$$

где $R = \sqrt{\frac{3v}{4\pi}}$, v — объем камеры в $м^3$, f — частота ЭМП в *гц*. Выражение, заключенное в скобки, определяет зависимость *Э* от линейных размеров камеры и частоты ЭМП, а $Э_1$ — коэффициент, зависящий от материала экрана. Формула (41) справедлива при условии, что $R \ll \frac{\lambda}{6}$.

В СВЧ-диапазоне расчет эффективности экранирования можно проводить по формуле:

$$Э_{СВЧ} = Э_1^2, \qquad (42)$$

которая выражает ослабление плотности потока мощности.

В табл. 7 приведены значения $Э_1$ для ЭМП в диапазоне частот от 10 *кгц* до 100 *Мгц* при разных материалах экрана, а в табл. 8 — значения $Э_{СВЧ}$ для 10-сантиметрового диапазона (2,5—3,75 *Ггц*) при экранировании с помощью латунных проволочных сеток разных размеров (Пресман, 1958б).

Мы не касались вопроса об электростатических и магнитостатических полях, так как принципы экранирования таких полей известны из курса физики, а в разработке специальных защитных приспособлений пока не было необходимости.

Таблица 7

Значения коэффициента $Э_1$ при различных частотах

Вид экрана	Материал экрана	Частота, *кгц*				
		10	100	1000	10 000	100 000
Металлические листы толщиной 0,5 *мм*	Сталь	$2{,}5\cdot10^6$	$5\cdot10^8$	$>10^{12}$		
	Медь	$5\cdot10^6$	10^7	$6\cdot10^8$	$>10^{12}$	
	Алюминий	$3\cdot10^6$	$4\cdot10^6$	10^8	$>10^{12}$	
Металлические сетки	Медь (диаметр проволоки 0,1 *мм*, ячейки 1×1 *мм*)	$3{,}5\cdot10^6$	$3\cdot10^5$	10^5	$1{,}5\cdot10^4$	$1{,}5\cdot10^3$
	Медь (диаметр проволоки 1 *мм*, ячейки 10×10 *мм*)	10^6	10^5	$1{,}5\cdot10^4$	$1{,}5\cdot10^3$	$1{,}5\cdot10^2$
	Сталь (диаметр проволоки 0,1 *мм*, ячейки 1×1 *мм*)	$6\cdot10^4$	$5\cdot10^4$	$1{,}5\cdot10^4$	$4\cdot10^3$	$9\cdot10^2$
	Сталь (диаметр проволоки 1 *мм*, ячейки 10×10 *мм*)	$2\cdot10^5$	$5\cdot10^4$	$2\cdot10^4$	$1{,}5\cdot10^3$	$1{,}5\cdot10^2$

Таблица 8

Эффективность экранирования ($Э_{СВЧ}$) 10-сантиметровых волн латунными сетками

№ сетки	Диаметр проволоки, *мм*	Число ячеек, на 1 *см*²	$Э_{СВЧ}$
1	0,53	16	$9\cdot10^2$
2	0,43	25	$7\cdot10^3$
3	0,35	64	$3\cdot10^4$
4	0,25	81	$6\cdot10^3$
5	0,20	169	$9\cdot10^4$
6	0,14	186	$9\cdot10^4$
7	0,075	441	$8\cdot10^4$
8	0,08	559	10^5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как мы упоминали во введении и попытаемся доказать в последующих главах, ЭМП могут оказывать двоякого рода влияние: либо регулировать способность животных ориентироваться в пространстве и ритмику физиологических процессов у различных организмов, либо нарушать поведение организмов и процессы их жизнедеятельности. На основе рассмотренных в первых двух главах физических характеристик естественных и искусственных ЭМП, встречающихся в средах обитания организмов, можно уже высказать некоторые априорные соображения о том, какие из рассмотренных параметров ЭМП могут быть наиболее важными в осуществлении этих влияний.

Очевидно, что влияние ЭМП на ориентационно-навигационные системы организмов должно быть связано с параметрами направленности, сохраняющимися неизменными во времени или, по крайней мере, изменяющимися достаточно медленно. Такими параметрами могут быть электрические и магнитные силовые линии в статических полях или в ЭМП индукции, векторы E и H в линейно поляризованной электромагнитной волне и, наконец, направление потока электромагнитной энергии при направленном излучении электромагнитных волн.

Среди природных ЭМП параметрами направленности обладают только электрическое и магнитное поля Земли. Электрическое поле Земли направлено вертикально к ее поверхности. В магнитном поле параметрами направленности являются горизонтальная и вертикальная составляющие (в средних широтах превалирует горизонтальная, а в полярных областях — вертикальная). При этом следует учитывать, что направление горизонтальной составляющей магнитного поля (угол склонения), а также напряженности и магнитного и электрического поля изменяются с суточной периодичностью.

Об определенной направленности в искусственно создаваемых статических полях и в ЭМП индукции можно говорить только по отношению к области, достаточно близкой к источнику. На больших расстояниях от источника возможно уже воздействие совокупности полей и от других источников, направленность которых, вообще говоря, различна. То же можно сказать и в отношении направления поляризации в электромагнитных волнах и о направленном их излучении. Иными словами, направленность сказывается лишь на таком расстоянии от источника, где интенсивность создаваемых им ЭМП еще значительно выше интенсивности ЭМП, создаваемых в этом месте другими источниками.

Если естественные ЭМП синхронизуют ритмы биологических процессов, то основным параметром, обусловливающим такое регулирование, может быть только период изменения ЭМП.

В природных ЭМП мы наблюдаем два типа периодичности:

1. Периодические изменения напряженности, происходящие с одной определенной частотой (обычно на фоне некоторых флуктуаций); такая периодичность характерна для изменений электрического и магнитного полей Земли, а также направления магнитных силовых линий.

2. Периодические изменения суммарной интенсивности некогерентных электромагнитных излучений; такие изменения наблюдаются у излучений, возникающих при атмосферных разрядах, и у космических радиоизлучений.

Искусственно создаваемые ЭМП можно рассматривать как периодические только на тех расстояниях от источника, где еще мало влияние со стороны ЭМП, создаваемых в этом месте другими источниками и некогерентных с ЭМП данного источника. Что же касается суммарной интенсивности ЭМП от разных источников, генерирующих на различных частотах с беспорядочно изменяющейся разностью фаз, то здесь мы опять сталкиваемся с некогерентными излучениями.

Если исходить из предположения о синхронизирующем влиянии природных периодически изменяющихся ЭМП на живые организмы, то нерегулярные изменения природных ЭМП (например, при солнечных вспышках) следует рассматривать как «помехи», в той или иной степени нарушающие системы регулирования биологических процессов. Что касается искусственно создаваемых ЭМП (частоты которых в общем случае отличны от частот природных ЭМП), то эти поля либо вносят «вредную» информацию в системы биологического регулирования (если их параметры неадекватны биологическим ритмам), либо могут рассматриваться как «шумы», в той или иной степени нарушающие функции регулирования.

Приведенные в главах 3 и 4 данные, характеризующие электрические свойства живых тканей и физические основы взаимодействия ЭМП с биологическими средствами, вполне достаточны для рассмотрения физических механизмов биологических эффектов, возникающих под действием статических полей и ЭМП различных частот достаточно высоких интенсивностей (магнитомеханические, магнитоэлектрические и ориентационные эффекты, тепловые эффекты). Но достаточны ли эти данные для выявления механизмов экспериментально обнаруженной чувствительности живых организмов к полям значительно меньшей интенсивности, о которой мы упоминали во введении?

Забегая вперед, сошлемся на некоторые экспериментальные данные о минимальных интенсивностях ЭМП, вызывающих реакции живых организмов на различных уровнях их биологической организации. Как видно из данных, приведенных в табл. 9, чувствительность к статическим полям и к ЭМП различных частотных диапазонов на несколько порядков выше теоретически предска-

Таблица 9

Сравнение теоретических оценок и экспериментальных данных о максимальной чувствительности биосистем

Диапазон ЭМП	Теоретически оцениваемая минимальная интенсивность ЭМП, при которой возможна реакция биосистем	Экспериментально установленная минимальная интенсивность, при которой биосистемы реагируют на ЭМП
Электростатическое поле	10^8 *в/м* — действие на стабильность конфигураций макромолекул (Hill, 1958)	10^{-5} *в/м* — электрорецепция у рыб (Буллок, 1961; Dijgraaf, 1964); $2 \cdot 10^3$ *в/м* — угнетение размножения хлореллы (Родичева и др., 1965)
Магнитостатическое поле	10^8 — 10^8 *э* — магнитомеханические и ориентационные эффекты (Дорфман, 1966)	0,6 *э* — повышение двигательной активности у птиц (Эльдаров, Холодов, 1964); 10 *э* — влияние на развитие зерновых растений (Новицкий и др., 1965)
ЭМП высоких частот	10^4 *в/м* — тепловой эффект в тканях тела человека (Пресман, 1957б)	10^{-4} *в/м* — сосудистый условный рефлекс у человека (Плеханов, 1965); $3 \cdot 10^2$ *в/м* — изменение слюноотделения у собаки (Салей, 1964)
ЭМП ультравысоких и сверхвысоких частот	10 *мвт/см²* — тепловой эффект у человека и животных (Schwan, Li, 1956а)	$2 \cdot 10^{-2}$ *мвт/см²* — изменение ЭЭГ у кролика (Гвоздикова и др., 1964); 1 *мвт/см²* — изменение активности гамма-глобулинов человека in vitro (Bach, 1961а)

зываемой. Столь высокая чувствительность отмечена не только у сложных, но и у примитивных организмов, у растений и даже на молекулярном уровне (в целостных организмах).

Таким образом, рассмотрение механизмов энергетического взаимодействия ЭМП с биологическими средами не может служить основой для выяснения механизмов высокой чувствительности живых организмов к ЭМП. А это значит, что к биологическим эффектам ЭМП нельзя подходить, исходя только из физических закономерностей взаимодействия ЭМП с веществом, установленных для неживых объектов. По-видимому, в живых организмах имеются системы, особо чувствительные к ЭМП. И обнаружить эти системы, вскрыть их механизмы можно только путем биологических исследований, учитывая не только физические, но и биологические закономерности взаимодействия ЭМП с живыми организмами. Невольно вспоминаются слова Сент-Дьердьи (1964): «В живой природе часто «работают» системы, более сложные, чем те, какими пользуются физики для проверки своих теорий».

Именно биологические исследования, с использованием сравнительно простой экспериментальной техники (основные черты которой описаны в главе 5), и привели к успешному обнаружению различных проявлений биологического действия ЭМП. Во второй части этой книги описываются экспериментальные исследования биологического действия искусственно создаваемых ЭМП, а в третьей — исследования регулирующего и нарушающего влияния естественных ЭМП на живую природу.

Часть вторая

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В этой части рассматриваются в основном исследования биологических эффектов ЭМП, проведенные за последние 10—15 лет. Эти исследования охватывают всю рассматриваемую область ЭМП — от постоянных полей до миллиметровых радиоволн. Однако наиболее значительный материал накоплен в исследованиях с УВЧ- и СВЧ-диапазонами; в меньшей мере «освоены» постоянные магнитные и электрические поля и низкочастотный диапазон, и, наконец, сравнительно небольшое число работ связано с ЭМП высоких частот. За последние годы появилось несколько сборников и обзорных статей, посвященных биологическому действию электромагнитных полей УВЧ- и СВЧ-диапазонов (О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот, 1964; Биологическое действие ультразвука и сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний, 1964; Biological effects of microwave radiation, 1964; Schwan, Piersol, 1955; Duhamel, 1958, 1959; Kalant, 1959; Пресман и др., 1961; Пресман, 1964а, 1964б, 1965а; Гордон и др., 1963, и др.), биологическому действию магнитного поля (Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей, 1965; Biological effects of magnetic fields, 1964; Barnothy, 1963а; Becker, 1963а; Могендович, 1965, и др.) и биологическому действию низкочастотных ЭМП (Некоторые вопросы физиологии и биофизики, 1964).

В последующих главах рассматривается биологическое действие ЭМП различных частотных диапазонов на различных уровнях биологической организации — от целостного организма до клеток и молекул in vitro.

Для того чтобы вести рассмотрение разнообразных проявлений биологического действия ЭМП по определенному плану, необходимо как-то их классифицировать. Мы попытались это сделать по двум основным признакам: во-первых, отдельно рассматривая эффекты ЭМП в целостных организмах и в опытах с изоли-

рованными клетками и растворами макромолекул in vitro; во-вторых, деля эффекты ЭМП в целостном организме по их общему характеру на необратимые изменения в организме, органах и тканях и обратимые изменения, проявляющиеся в том или ином нарушении физиологических функций, сравнительно быстро восстанавливающемся. Конечно, последнее разделение только условно, ибо указать грань между еще обратимыми изменениями и уже необратимыми довольно трудно.

Глава 6

НЕОБРАТИМЫЕ И СТОЙКИЕ ЭФФЕКТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ЦЕЛОСТНЫХ ОРГАНИЗМАХ

Безусловно необратимы летальные эффекты ЭМП — гибель живого организма под действием ЭМП высоких интенсивностей. С изучения таких экспериментальных эффектов начинают обычно оценку любого биологически действенного фактора.

6.1. Летальное действие ЭМП

В табл. 10 приведены экспериментально установленные значения интенсивности и длительности воздействия ЭМП различных частотных диапазонов, оказывающиеся летальными (при нормальных остальных факторах внешней среды) для животных различных видов.

Как видно из таблицы, гибель животных наступает в тех случаях, когда под действием ЭМП высокой интенсивности температура тела животных (определяемая по ректальной температуре) повышается до уровня выше критического, т. е. до 41—42° для крупных животных (собаки и кролики) и 42—43° для мелких (крысы, мыши)[1]. При таких условиях происходит необратимое нарушение терморегуляции в организме и животное погибает.

Нетрудно убедиться, что приведенные в табл. 10 величины повышения температуры тела животных под действием ЭМП данных интенсивностей и продолжительностей воздействия соответствуют теоретическим расчетам по формуле (32), если подставить в нее соответствующие значения параметров теплообмена. Иначе говоря, повышение температуры тела, приводящее к

[1] Здесь и далее речь идет о белых мышах и крысах, обычно используемых в лабораторных исследованиях.

Таблица 10

Гибель животных под действием ЭМП разных частотных диапазонов

Параметры ЭМП	Животное	Летальные значения		Оценка летального исхода		Литературный источник
		интенсивность ЭМП	длительность воздействия, мин.	повышение температуры, °C	% смертности	
Постоянное магнитное поле	Дрозофила	120 000 *в*	60	—	100	Beisher, 1964
50—500 *гц*	»	650 000 *в/м*	60—120	—	70—90	Соловьев, 1963б
50 *гц*	Мышь	650 000 »	270	—	50	
500 *гц*	»	650 000 »	90	—	50	
14,88 *Мгц*	Крыса	9 000 »	10	—	100	Фукалова, 1964б
	»	5 000 »	100	—	80	
	»	4 000 »	100	—	25	
69,7 *Мгц*	»	5 000 »	5	—	100	
	»	2 000 »	100	—	83	
200 *Мгц*	Собака	330 *мвт/см*	15	5	50	Addington et al., 1961
	»	220 »	21	4,1	25	
	Морская свинка	590 »	20	5,9	100	
	»	410 »	20	4,2	67	
	»	330 »	20	4,1	100	Michaelson et al., 1961a
	Кролик	165 »	30	6—7	100	
2800—3000 *Мгц* (импульсн.)	Собака	165 »	270	4—6	100	Michaelson et al., 1961б
	Кролик	300 »	25	6—7,5	100	Тягин, 1958
	»	100 »	103	4—5	100	
	Крыса	300 »	15	8—10	100	
	»	100 »	25	6—7	100	
	»	40 »	90	—	100	Лобанова, 1960
10000 *Мгц* (импульсн.)	»	400 »	13—14	7	100	Мирутенко, 1964
	Мышь	32 »	1,7	5,6—7,8	100	Baranski et al., 1963
	»	8,6 »	33	9,2	100	
	»	5 »	188	6,8	50	
24000 *Мгц* (импульсн.)	Крыса	300 »	20	5,5	100	Deichman et al., 1959
	»	28 »	139	—	100	
	Мышь	170 »	6,3	—	100	
	»	37 »	282	—	100	

гибели животного, обусловлено тепловым эффектом ЭМП при учете теплообмена организма.

Однако характер развития процессов, приводящих к гибели животных, зависит от условий воздействия ЭМП (локализация участка тела, подвергающегося воздействию, расположение животного в поле, скорость нагревания и т. д.).

В серии экспериментов, проведенных с собаками, кроликами и крысами для изучения температурной и других физиологических реакций на воздействие импульсными и непрерывными СВЧ-полями высоких интенсивностей (2800 и 200 *Мгц* соответственно),

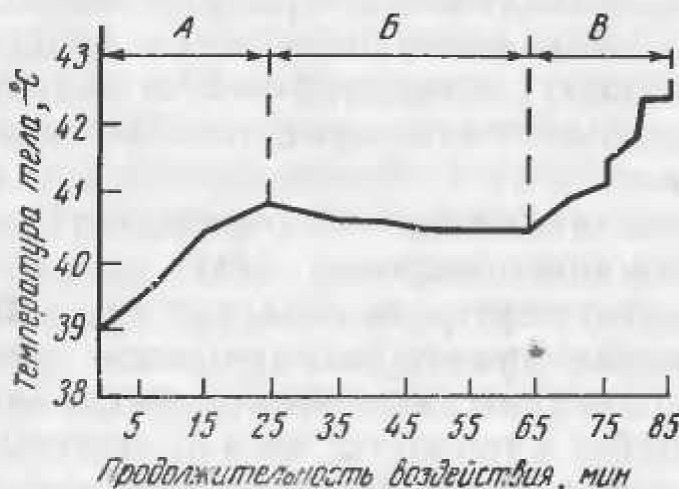


Рис. 35. Повышение температуры тела у собаки при общем СВЧ-облучении с большой интенсивностью (2800 *Мгц*, 165 *мвт/см*²)

А — начальное нагревание, приводящее к учащению дыхания, *Б* — равновесное состояние, *В* — нарушение терморегуляции и коллапс

были установлены следующие закономерности (Michaelson et al., 1961а, 1961б; Howland et al., 1961).

1. В процессе облучения животных наблюдаются три фазы изменения ректальной температуры (рис. 35) — начальное повышение (*А*), равновесное состояние (*Б*) и, наконец, быстрое повышение до значений выше критического (*В*), приводящее к необратимому нарушению терморегуляции и к гибели животного, если облучение не прекращается.

2. При увеличении интенсивности (от 100 до 165 *мвт/см*²) равновесная фаза укорачивается и может даже совсем исчезнуть, а критическая температура достигается быстрее. При одинаковой интенсивности волны с частотой 2800 *Мгц* вызывают больший тепловой эффект, чем волны с частотой 200 *Мгц*.

3. Под действием наркоза у собак повышается чувствительность к действию ЭМП — при частоте 200 *Мгц* равновесная фаза укорачивается, а при частоте 2800 *Мгц* исчезает. Характерно, что повышение температуры тела, вызванное переносом животного в помещении с высокой температурой (49°), не зависит от наркоза.

У кроликов и крыс наркоз, наоборот, понижает тепловой эффект при воздействии с частотой 2800 *Мгц*, но повышает его у крыс при частоте 200 *Мгц*.

4. Облучение головы наркотизированной собаки (2800 *Мгц*, 130 *мвт/см*²) приводит к такому же повышению температуры, как

и облучение всего тела с большей интенсивностью (165 *мвт/см²*) при той же продолжительности воздействия. При облучении же участка туловища, равного по площади облучаемой части головы, тепловой эффект значительно слабее.

5. Продолжительное облучение при интенсивностях 100 и 165 *мвт/см²* (в течение 3—6 час.) приводит к лейкоцитозу (главным образом за счет увеличения количества нейтрофилов), который сохраняется еще через 24 часа после прекращения облучения, когда ректальная температура становится нормальной. В то же время отмечается понижение количества лимфоцитов и эозинофилов, чаще всего через 24 и 48 час. после прекращения облучения. Двухфазно изменяется концентрация эритроцитов: она уменьшается в первые 30—60 мин. облучения, а затем возрастает и возвращается к норме через 24 часа после прекращения облучения.

Эти данные со всей очевидностью указывают, что гибель животных под действием ЭМП нельзя рассматривать просто как результат перегрева тела, так как наблюдается ряд глубоких нарушений регуляторных процессов в организме, которые зависят не только от величины электромагнитной энергии, преобразующейся в тепловую, но и от частоты ЭМП, от локализации воздействия и от физиологического состояния животного.

Авторы пришли к заключению, что описанные эффекты можно рассматривать как результат теплового стрессорного[2] действия ЭМП. И действительно, фазы изменения температуры соответствуют трем стадиям стресса — «реакции тревоги», «стадии резистентности» и «стадии истощения», а наблюдаемые изменения крови характерны для ранних проявлений теплового стресса. Однако ЭМП рассматриваемых диапазонов частот могут непосредственно воздействовать как на периферическую, так и на центральную нервную систему. Какое же из этих стресс-раздражений играет превалирующую роль в летальном действии ЭМП?

В пользу теплового периферического раздражения свидетельствуют результаты исследований, проведенных в Туланском университете (McAfee, 1961; McAfee et al., 1961), в которых сравнивались реакции у кошки при локальном нагреве периферических нервов (радиального, лучевого, тройничного и седалищного) металлическим нагревателем, инфракрасными лучами и 3- и 12-сантиметровыми волнами (10 000 и 3000 *Мгц*). Животных

---

[2] Стресс, или общий адаптационный синдром,— совокупность приспособительных реакций организма на любое опасное воздействие (тепло, химические воздействия, психическая травма). Воздействующий агент (стрессор) стимулирует активность гипоталамуса и выделение гипофизом гормона АКТГ, что в свою очередь активирует гормональную деятельность коры надпочечников.

подвергали различного вида наркозу, в том числе и глубокому. Во всех случаях, независимо от вида воздействия, при повышении температуры нерва до 46° отмечались реакции, типичные для болевого раздражения: учащенное дыхание, возбуждение (пробуждение от наркоза), учащение сердцебиения, сужение периферических кровеносных сосудов, повышение кровяного давления. Подобные реакции наблюдались и при сдавливании периферического нерва.

Кук (Cook, 1952в) сравнивал пороговые интенсивности облучения участка тела человека микроволнами (3000 *Мгц*) и инфракрасными лучами по едва переносимому болевому ощущению. Такое ощущение возникало, когда температура кожи повышалась до 46—47°. При сравнительно больших размерах облучаемого участка переносимая интенсивность микроволн (800 *мвт/см²*) оказалась в 4 раза большей, чем соответствующая интенсивность инфракрасных лучей. Однако энергия, поглощаемая в поверхностных тканях (глубиной 1,5 *мм*), была примерно одинаковой в обоих случаях, что можно объяснить различием в степени поглощения. Следовательно, эффект локального облучения микроволнами обусловливается как будто только преобразованием электромагнитной энергии в тепловую.

Все это, казалось бы, указывает на неспецифическое, чисто тепловое стрессорное действие ЭМП, такое же, как и при нагревании, например, инфракрасными лучами. Но другие сравнительные исследования показывают, что это далеко не очевидно.

В сравнительных экспериментах Дейхмана и сотр. (Deichman et al., 1959), облучавших дорсальную поверхность тела крыс инфракрасными лучами и микроволнами с частотой 24 000 *Мгц* (оба вида излучения практически полностью поглощаются в кожном слое), были выявлены иные соотношения. Оказалось, что при одинаковой интенсивности облучения микроволны значительно быстрее нагревают кожные ткани и до более высокой температуры, чем инфракрасные лучи: микроволны — до 45° за 2 мин., а инфракрасные лучи — 42° за 12 мин. Подобное различие отмечено и в повышении общей температуры тела (ректальной): до 42° за 14 мин. и до 39° за 24 мин. соответственно. Наконец, для летального эффекта требуется в 8 раз более длительное облучение инфракрасными лучами, чем микроволнами такой же интенсивности.

Эти результаты убедительно показывают, что при одинаковой теплопродукции в поверхностных тканях животных микроволны действуют на организм значительно эффективнее инфракрасных лучей (судя и по повышению температуры тканей, и по повышению общей температуры тела, и по летальному действию). Значит, не только тепловой эффект микроволн определяет их биологическое действие; наряду с тепловым микроволны оказывают на организм и иное, «электромагнитное» воздействие.

Это подтверждается и другими исследованиями (Addington et al., 1961; Deichman, 1961; Deichman et al., 1961), в которых установлено, что гибель животных под действием ЭМП (200 *Мгц*) зависит не только от интенсивности и продолжительности облучения, но и от расположения оси тела животного относительно плоскости поляризации волны, от характера модуляции ЭМП, от быстроты нарастания температуры. При расположении животных (собак и морских свинок) параллельно плоскости поляризации волны температура тела повышалась на 4—5° за 15—20 мин. и животные погибали, а при расположении их перпендикулярно плоскости поляризации воздействие с той же интенсивностью приводило к такому же повышению температуры за 7—10 мин., но не вызывало гибели животных.

Продолжительность облучения крыс непрерывными микроволнами (3000 *Мгц*), вызывающего их гибель, оказалась в 4—5 раз большей, чем при облучении импульсными микроволнами той же средней интенсивности (Marha, 1963), хотя ранее было установлено, что при одинаковой интенсивности импульсные и непрерывные микроволны одинаково нагревают ткани тела животных (Scelsi, 1957), а по повышению общей температуры тела непрерывные микроволны оказались даже эффективнее импульсных (Howland et al., 1961).

Особенность летального эффекта микроволн проявляется и в адаптации к ним организма животных при повторных облучениях. Многократные воздействия при высоких интенсивностях (165 *мвт/см*^{2}) понижают чувствительность организма: животные переносят все более длительные воздействия, а критическая температура достигается при более длительном облучении (Howland et al., 1961). Облучения же с малыми интенсивностями (1 *мвт/см*^{2}), наоборот, сенсибилизируют организм животных (крыс) к летальному действию облучения с большей интенсивностью (65 *мвт/см*^{2}) (Marha, 1963).

Итак, если гибель животных под действием микроволн происходит в результате периферического стресс-раздражения, то оно является не только тепловым. Возможно, что на такое воздействие реагируют все периферические возбудимые структуры (известно, что все они реагируют на электрическое раздражение).

Что касается непосредственного стресс-раздражения структур центральной нервной системы как причины гибели животных под действием ЭМП, то это представляется теоретически возможным при частотах не выше 1000—3000 *Мгц* (см. § 4, 3). Это подтверждается и экспериментальными исследованиями Остина и Хорваса (Austin, Horwaths, 1949, 1954), которые наблюдали конвульсии и гибель крыс при облучении их головы микроволнами с частотой 2800 *Мгц*, вызывающем повышение температуры тканей мозга до 40°, причем этот эффект наблюдался независимо от величины ректальной температуры у животных. Еще более убедительны в

этом отношении эксперименты по воздействию на обезьяну ЭМП с частотой 225—339 *Мгц* (Boldwin et al., 1960). Облучалась только голова животного, находящаяся в цилиндрическом резонаторе, возбуждаемом от антенны, помещенной в верхней его части. При фиксации головы подбородком вверх облучение в течение 1 мин. вызывало последовательно настороженность, сон, подобный наркотическому, пробуждение и, наконец, резкое возбуждение. А 3-минутное облучение вызывало конвульсии и гибель животного. При фиксации головы с опущенным подбородком отмечались только возбуждение и сонливость, а при свободной подвижности головы нарушений не отмечалось, но животные поднимали голову, глядя на антенну. Характерно, что даже при летальном воздействии температура тела изменялась незначительно, но в головном мозге отмечались нарушения межнейронных связей и замедлялся ритм биотоков. Облучение же всего тела животного, кроме головы, не вызывало ни реакций, ни каких-либо существенных нарушений. Авторы рассматривают описанные эффекты как результат нарушений функций промежуточного и среднего мозга. Это согласуется с давно установленным эффектом электрического раздражения этих мозговых структур — нарушением терморегуляции, приводящим к повышению температуры тела и к типичным стрессорным реакциям.

Таким образом, гибель животных при непосредственном воздействии интенсивных ЭМП на структуры головного мозга связана не столько с тепловым эффектом, сколько с необратимым нарушением регуляторных функций. Подобного же рода нарушения происходят и при аномально интенсивном потоке афферентных импульсов в центральную нервную систему, возникающем при общем периферическом раздражении.

6.2. Морфологические изменения в тканях и органах под действием ЭМП

Морфологические изменения в органах и тканях животных происходят как в результате однократного воздействия ЭМП высоких интенсивностей, так и кумулятивно — при многократных воздействиях ЭМП малых интенсивностей.

Локализация наиболее выраженных изменений в общем соответствует глубине проникновения энергии ЭМП; поражаются тем более глубокие ткани, чем ниже частота ЭМП и чем меньше размеры животного. Однако менее выраженные изменения в глубоко расположенных органах и тканях отмечаются и в тех случаях, когда ЭМП полностью поглощаются в поверхностных, кожных тканях (например, при облучении миллиметровыми волнами).

Характер морфологических изменений под действием ЭМП может быть самым различным — от резких поражений при ле-

тальных воздействиях (ожоги, некроз тканей, кровоизлияния, дегенеративные изменения в клетках и т. п.) до умеренных или слабых обратимых изменений при воздействиях ЭМП малых интенсивностей (умеренные сосудистые изменения, небольшие дистрофические изменения в органах и т. п.).

Наиболее полные и многосторонние исследования такого рода проведены в СВЧ-диапазоне (Первушин и Триумфов, 1957; Субота, 1957а; Толгская и др., 1959, 1960; Толгская, Гордон, 1964; Seguin, 1949а; Seguin, Castelain, 1947а, 1947б; Boysen, 1953 и др.). Резкие морфологические изменения, обнаруживаемые при интенсивных облучениях, подобны тем, которые происходят при перегреве тканей обычными способами (конвекционное тепло, инфракрасные лучи).

Особый интерес представляют морфологические изменения, возникающие при многократных слабых воздействиях, начиная от интенсивностей порядка 1 *мвт/см²*. Наиболее чувствительными к таким воздействиям оказываются нервные ткани — кожные рецепторы при облучении миллиметровыми и 3-сантиметровыми волнами, интерорецепторы и структуры центральной нервной системы при облучении 10-сантиметровыми и дециметровыми волнами.

Следует отдельно остановиться на структурных изменениях в клетках головного мозга, происходящих при многократных облучениях волнами СВЧ-диапазона малой интенсивности (Толгская и др., 1960; Толгская, Гордон, 1964). Во-первых, это изменения в межнейронных связях клеток коры головного мозга, проявляющиеся в исчезновении шипиков[3] и появлении четок на них, а иногда и распаде их на фрагменты. Во-вторых, это усиленное размножение клеток микроглии и небольшие дистрофические изменения отростков этих клеток. При облучении миллиметровыми волнами изменения носят очаговый характер; облучение сантиметровыми волнами приводит к усиленному размножению клеток вокруг сосудов мозга; дециметровые волны вызывают и дистрофические изменения.

Характерно, что подобного рода изменения в структурах головного мозга обнаружены и под действием ЭМП высокочастотного диапазона и даже под действием постоянного магнитного поля.

Многократные воздействия на крыс ЭМП с частотой 500 *кгц* при нетепловых интенсивностях (1800 *в/м* и 50 *а/м*) приводили к изменениям в синапсах клеток коры головного мозга, в структурах таламо-гипоталамической области и ствола мозга (Толгская, Никонова, 1964), а длительное воздействие постоянным магнитным полем 200—300 *э* на животных (кролики, кошки, крысы)

---

[3] Шипики — грушевидные выросты протоплазмы на верхушечных дендритах пирамидных клеток. По новейшим представлениям, шипики являются рецепторным аппаратом коры головного мозга.

вызывало дистрофические изменения нейроглии[4] (Александровская, Холодов, 1965, 1966). Более интенсивное и длительное воздействие магнитного поля (7000 э, 500 час.) на морских свинок вызывало значительные морфологические изменения (кровоизлияния, отеки, некробиотические процессы) в ряде органов — легких, селезенке, желудочно-кишечном тракте, семенниках (Рыжов, Гарганеев, 1965; Торопцев и др., 1966а).

Резюмируя данные исследований с многократными воздействиями ЭМП малых интенсивностей, можно сделать следующие заключения:

1. Морфологические изменения в тканях и органах под действием ЭМП различных частот и постоянного магнитного поля могут появляться и в отсутствие какого-либо существенного теплового эффекта. По-видимому, они возникают за счет кумуляции каких-то функциональных нарушений регуляции обменных процессов.

2. Наиболее часто наблюдаются морфологические изменения в тканях периферической и центральной нервной системы, нарушающие ее регуляторные функции как за счет разрыва соответствующих связей, так и за счет изменения структуры самих нервных клеток. Характерно, что такие нарушения однотипны при воздействии ЭМП самых различных частот вплоть до постоянного магнитного поля.

Вместе с тем имеются убедительные экспериментальные доказательства того, что даже резкие морфологические изменения под действием ЭМП высоких интенсивностей нельзя отнести только за счет теплового эффекта. Это можно показать на примере многочисленных исследований по воздействию интенсивных ЭМП на глаза и семенники животных.

6.3. Действие ЭМП на глаза и семенники

Глаза и семенники — органы, бедные кровеносными сосудами. Следовательно, они должны сильнее нагреваться под действием ЭМП, чем органы, в которых возможен интенсивный отвод тепла за счет усиления кровотока.

В ряде экспериментальных исследований обнаружено возникновение катаракты хрусталика глаза под действием СВЧ-полей (Лучевые катаракты, 1959; Белова, Гордон, 1956; Белова, 1960а; Williams et al., 1956; Merola, Kinosita,1961; Carpenter et al., 1960,

---

[4] Нейроглия — вспомогательная ткань мозга. Ранее считалось, что глиальные клетки выполняют только опорно-трофические функции. В последнее время установлено, что клетки глии участвуют в проведении нервных импульсов, а возможно, являются «ячейками памяти». Клетки микроглии ведут себя как типичные фагоциты, т. е., по-видимому, выполняют защитную функцию в нервной системе.

1961; Van Ummersen, Cogan, 1965, и др.). Установлены следующие основные закономерности этого эффекта:

1. При однократном облучении глаз микроволнами (от 3- до 30-сантиметровых) высокой интенсивности в хрусталике возникает катаракта (помутнение), развивающаяся либо сразу после облучения, либо в течение более длительного периода — до десятков дней. Пороговые интенсивности для возникновения катаракты зависят от длительности облучения (120—700 *мвт/см*² для 270 — 5 мин. соответственно).

2. Характер развития катаракты, ее локализация и величина практически одинаковы при всех указанных условиях облучения и мало зависят от частоты микроволн. Отмечается, однако, что импульсные микроволны оказывают более эффективное катарактогенное действие, чем непрерывные.

3. Катаракта возникает и в результате многократных облучений, причем их пороговая интенсивность и продолжительность меньше, чем при однократном облучении (например, 10 сеансов по 30 мин. с интенсивностью 150 *мвт/см*²). Наконец, у людей отмечались отдельные случаи катаракты при хроническом (до нескольких лет) воздействии микроволн с интенсивностью несколько *мвт/см*².

В ранних исследованиях причину катаракты искали только в тепловой коагуляции, однако из последующих экспериментов становилось все более очевидно, что этот эффект связан с нарушением обменных процессов, с биохимическими изменениями в хрусталике. Так, при облучении глаз кролика микроволнами, интенсивность которых была ниже пороговой для образования катаракты, и при одновременном введении аллоксана (вызывающего катаракту) также подпороговой дозы были получены результаты, свидетельствующие о нарушении обменных процессов в хрусталике. Авторы (Richardson et al., 1952) высказали предположение, что существенную роль в этом эффекте играет изменение содержания глутатиона. И это предположение подтвердилось непосредственными наблюдениями (Гапеев, 1957; Cargenter et al., 1960; Merola, Kinosita, 1961), показавшими понижение содержания глутатиона и аскорбиновой кислоты в глазу до появления катаракты или даже в тех случаях, когда она вообще не возникала. Характерно, что сначала понижается содержание аскорбиновой кислоты (через 18 час.), а затем глутатиона (48 час.), тогда как при катарактах, вызванных другими причинами (ионизирующим облучением, аллоксановым диабетом и др.), в первую очередь изменяется содержание глутатиона.

Обнаружены и другие биохимические изменения в хрусталике глаза под действием микроволн: понижение активности ферментов аденозинфосфатазы и пирофосфатазы (Daily et al., 1951), образование радикалов трех типов (Duhamel, 1959). Отметим, наконец, что у кроликов, облучавшихся ежедневно в течение

3,5 месяца микроволнами с интенсивностью 1 *мвт/см*², понижалось внутриглазное давление; автор (Белова, 1960б) рассматривает это как нарушение соответствующей регуляции.

Уже в ранних исследованиях было обнаружено, что дегенеративные изменения в семенниках крыс при 10-минутном облучении микроволнами (2800 *Мгц*) возникают при повышении температуры тканей до 30—35°, тогда как при инфракрасном облучении подобные изменения обнаруживались только при повышении температуры до 40° (Imig et al., 1948). В недавно проведенных исследованиях (Searle et al., 1961) выявилось еще более существенное различие между эффектами, вызываемыми этими двумя термогенными факторами. На рис. 36 приведены диаграммы степени повреждения тканей семенников у крыс, из которых видно, что эффект микроволн более значителен и проявляется раньше, чем эффект инфракрасных лучей.

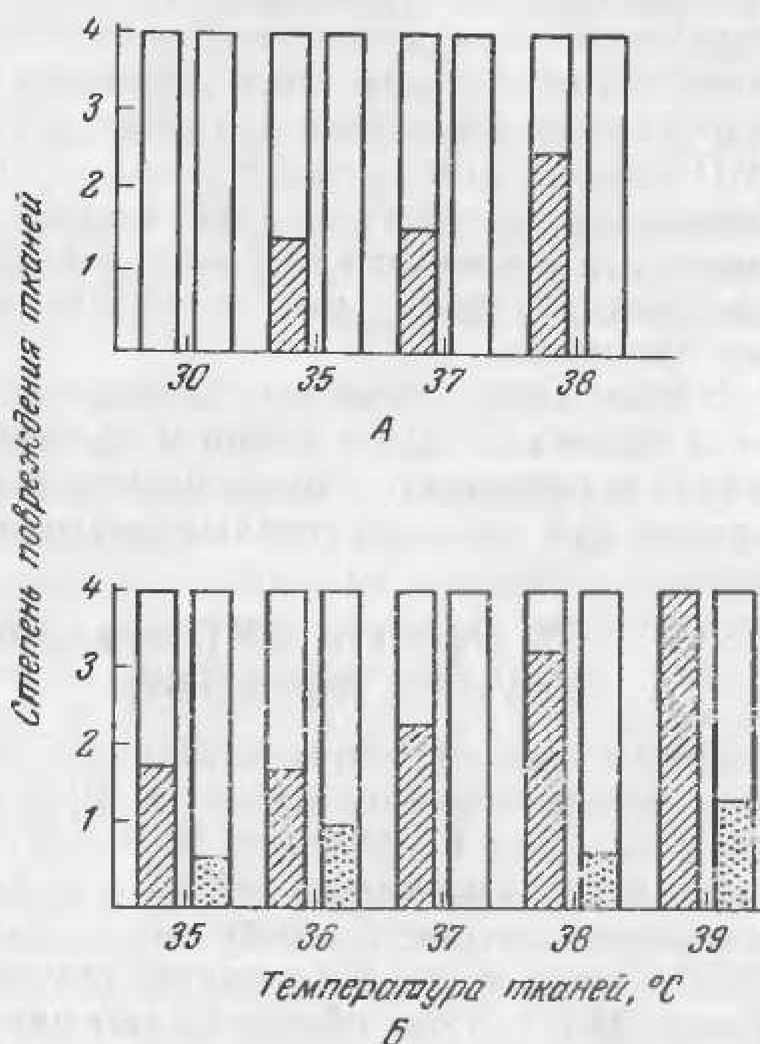


Рис. 36. Повреждение семенников у крысы (оцениваемое по 4-балльной шкале) в результате нагревания до различных температур путем СВЧ-облучения (левые столбики) и инфракрасного облучения (правые столбики)

А — через 1 час, *Б* — через 2 дня после облучения

Изменения в семенниках обнаружены и при многократных облучениях животных микроволнами. Облучение 3-сантиметровыми волнами с интенсивностью 100 *мвт/см*², вызывающее повышение температуры в тканях семенников только на 3,3°, приводило к атрофии семенных канальцев (Prausnitz, Susskind, 1962), а облучение 10-сантиметровыми волнами с интенсивностью всего 0,3 *мквт/см*² (!) на протяжении 2—3 месяцев приводило к изменениям эпителиальных и промежуточных клеток (Dolatkowski et al., 1963, 1964).

Морфологические изменения в семенниках возникали у морских свинок под действием постоянного магнитного поля (7000 *э*,

500 час.) в форме некробиотических изменений клеток сперматогенного эпителия; наблюдалось понижение в них содержания РНК и ДНК (Торопцев, Гарганеев, 1965).

Таким образом, о нетепловом действии ЭМП свидетельствуют и кумулятивные эффекты при многократных облучениях ЭМП малой интенсивности, и эффекты, возникающие при однократном воздействии без существенного нагревания тканей, и эффекты постоянного магнитного поля. Очевидно также, что и резкие морфологические изменения в глазах и семенниках под действием ЭМП высоких интенсивностей нельзя объяснить только тепловым эффектом: мы опять сталкиваемся здесь с каким-то «электромагнитным эффектом», играющим существенную роль в возникновении структурных изменений в тканях и в нарушении обменных процессов.

В этом свете значительный интерес представляют исследования действия ЭМП на ткани и органы животных при патологических нарушениях. Такие исследования проводились главным образом при злокачественных опухолях и лучевых поражениях.

6.4. Эффекты ЭМП при злокачественных опухолях и лучевых поражениях

Первые исследования действия СВЧ-полей на злокачественные опухоли проводились еще с 1938 г. в Голландии ван Эвердингеном (Van Everdingen, 1938, 1941, 1946а) в двух основных направлениях: изучались эффекты облучения животных и эффекты инъекции веществ, предварительно подвергнутых облучению.

Облучение мышей с раковой опухолью микроволнами с частотами 460 и 1200 *Мгц* не дало никаких результатов. Однако облучение больных животных (лимфосаркома, дегтярный рак) при частотах 1870 и 3000 *Мгц* оказалось более эффективным: ежедневные воздействия по 5—10 мин. в течение 14 дней приводили к замедлению роста опухоли, хотя через некоторе время после прекращения облучения ее развитие возобновлялось.

Введение больным животным экстрактов (в сероуглероде) злокачественных жировых и кожных тканей, предварительно облученных микроволнами с частотой 3000 *Мгц*, временно замедляло развитие опухолей и увеличивало сроки выживаемости по сравнению с контролем. Однако эти эффекты наблюдались не во всех случаях, а иногда отмечалось обратное действие. Значительно более определенные результаты были получены при введении больным животным облученных (в течение 5 мин.) экстрактов тканей, взятых у здоровых животных. Такие инъекции всегда приводили к замедлению роста опухолей, если на период лечения из рациона питания животных исключались жиры. Инъекции же облученного раствора гликогена, наоборот, ускоряли развитие опухолей. Ван Эвердинген считает, что эти эффекты

связаны с молекулярными изменениями в облученных веществах. Он отмечает, что экстракты жира и кожи, обычно оптически неактивные, после облучения становились правовращающими, а растворы гликогена, наоборот, понижали оптическую активность, вплоть до ее исчезновения.

Инъекции облученной эмульсии трипальмитина больным животным (из рациона питания которых исключались жиры) приводили к замедлению роста опухолей или перехода папиллом в злокачественную стадию и даже к полному исчезновению папиллом.

В другом раннем исследовании (Montani, 1944) наблюдалось полное рассасывание саркомы у крыс в результате облучения микроволнами с частотой 6000 *Мгц* при весьма малой интенсивности.

Торможение развития злокачественных опухолей у мышей под действием микроволн (3000 и 10 000 *Мгц*) наблюдалось и при интенсивном облучении, сопровождавшемся значительным нагреванием тканей (Roberts, Cook, 1952).

Действие постоянного магнитного поля на развитие раковой опухоли (асцитный рак Эрлиха) у мышей давало отрицательные результаты — возрастало число смертных случаев (Gross, 1962). Но комбинированное действие магнитного поля и микроволн оказалось весьма плодотворным. На этих интересных исследованиях (Riviere et al., 1965а, 1965б, 1965в, 1965г) стоит остановиться подробнее.

Крысы с перевитой опухолью матки (атипичная эпителиома T8e6) и с перевитой лимфосаркомой (347 и LS-2) подвергались одновременному воздействию постоянного магнитного поля (300 и 620 *гс*) и микроволн определенной длины волны (диапазона 3—80 *см*), модулированных какой-либо частотой из диапазона 17—300 *Мгц*.

В опытах с эпителиомой воздействие начинали на 2-й, 6-й, 10-й и 14-й день после имплантации, по 10—90 мин. ежедневно в течение 25—27 дней, в опытах с лимфосаркомой — на 2-й, 5-й, и 7-й день, по 80—140 мин. в продолжение месяца. В каждой серии экспериментов использовались группы по 12 животных и 24 для контроля.

Воздействия, начатые даже на 14-й день после перевивки эпителиомы, приводили к исчезновению опухоли и метастазов. Аналогичные результаты давали облучения в случае лимфосаркомы, начатые даже на седьмой день после ее перевивки. Следует отметить, что на протяжении 2—3 месяцев после курса воздействий никаких вторичных реакций и рецидивов не наблюдалось.

Рис. 37 иллюстрирует результаты воздействия ЭМП в опытах с лимфосаркомой LS-2.

Описанные исследования начаты совсем недавно — в 1965 г., но полученные результаты можно считать весьма обнадеживаю-

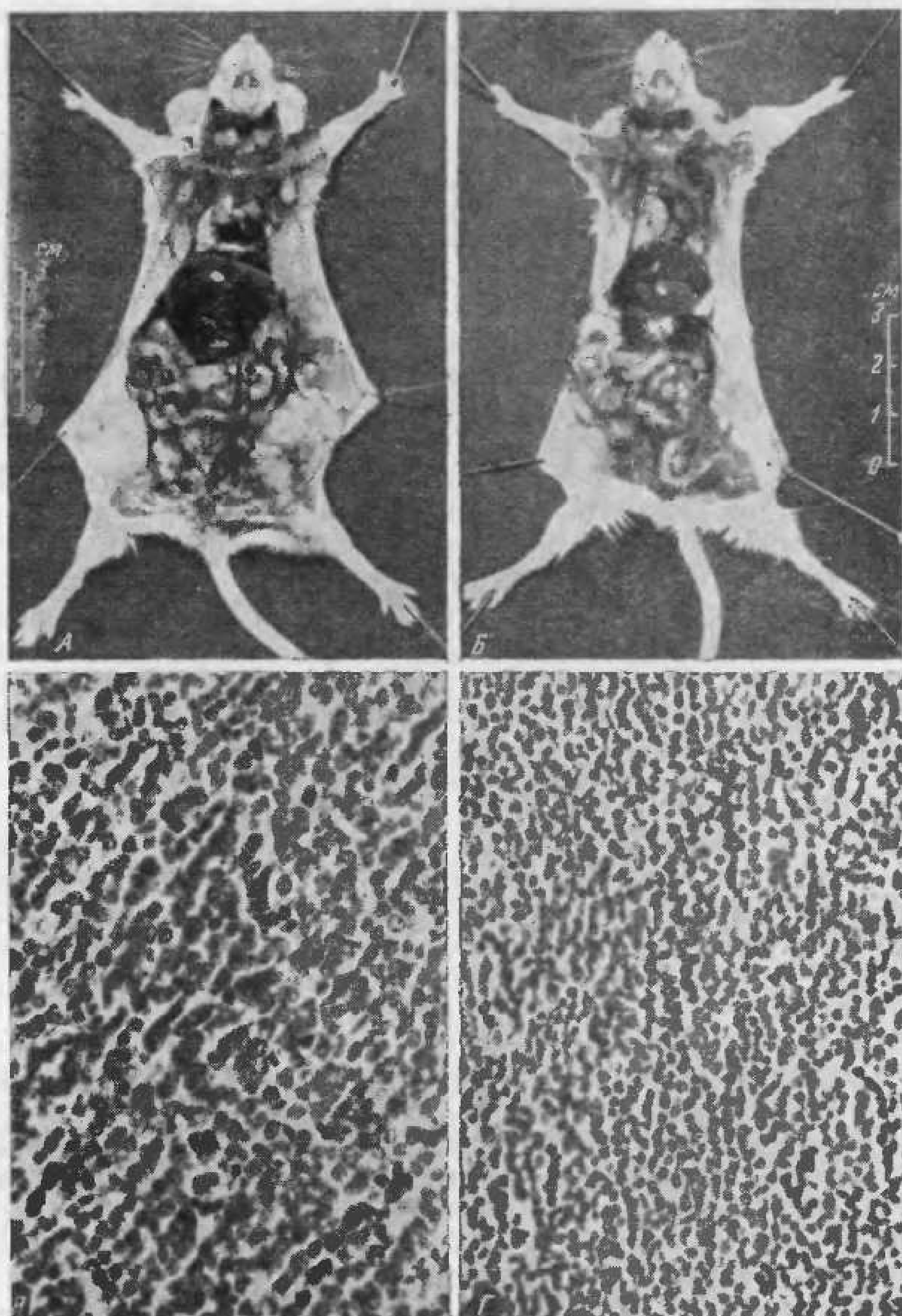


Рис. 37. Влияние комбинированного воздействия ЭМП на лимфосаркому LS-2 у крысы

А — вид лимфатических узлов до воздействия (через 10 дней после перевивки), *Б* — вид узлов у крысы после 30 сеансов воздействия, *В* — гистологический срез пахового узла до воздействия (× 440), *Г* — то же, после воздействия

щими. Нет сомнения, что дальнейшее развитие исследований комбинированного действия ЭМП на злокачественные опухоли будет иметь большое значение в проблемах терапии и биологии рака.

Исследования комбинированного действия ЭМП и ионизирующих излучений ставились в самых различных вариантах. В упомянутых выше исследованиях Майкельсона и Хоуланда с сотр. (Michaelson et al., 1958) было обнаружено, что собаки, подвергнутые ионизирующему облучению (ЛД-50 и ЛД-80), значительно сильнее реагировали на последующее облучение микроволнами большой интенсивности: быстрее достигалась критическая температура тела, в большей степени изменялась концентрация эритроцитов и т. д. Вместе с тем животные, подвергнутые ионизирующему облучению, так же реагировали на пребывание в помещении с температурой 49°, как и необлученные. Авторы сочли, что эти данные указывают на какую-то физиологическую взаимосвязь между эффектами ионизирующих излучений и микроволн и предприняли специальные исследования (Micnaelson et al., 1963; Howland, Michaelson, 1964; Thomson et al., 1965), в которых были получены следующие результаты:

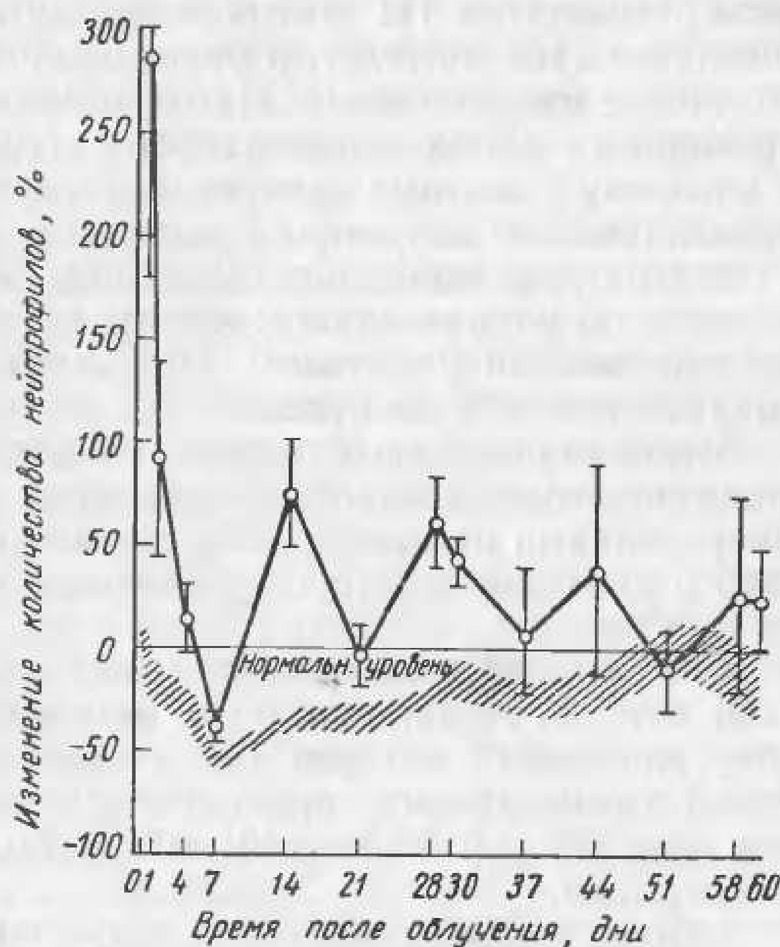


Рис. 38. Изменение количества нейтрофилов в крови собаки после одновременного облучения СВЧ-полями и гамма-лучами в сравнении с соответствующим изменением в результате одного гамма-облучения (заштрихованная область)

1. При одновременном облучении собак импульсными микроволнами (2800 *Мгц*, 100 *мвт/см*^{2}) и гамма-лучами (250 *кв*, 2 *р/мин*, 0,65 *мм* Al) восстановление нормального количества лейкоцитов после ионизирующего облучения наблюдалось значительно раньше, чем без облучения микроволнами. При этом сразу же после совместного облучения количество лейкоцитов возрастало в два раза вместо понижения на 6% при одном толь-

ко ионизирующем облучении. Наиболее выраженными эти эффекты были в отношении нейтрофилов (рис. 38). Смертность при комбинированном воздействии была такой же, как и при действии одного только ионизирующего излучения.

2. Предварительное облучение микроволнами в течение 3—6 час. почти в 4 раза уменьшало смертность от последующего ионизирующего облучения (340 *р*, общее облучение), тогда как менее продолжительное воздействие микроволн (0,5—1,5 часа) не давало результатов. Не изменяло процента смертности и более интенсивное (165 *мвт/см*^{2}), и более продолжительное (2,7—5 час.) облучение микроволнами. Наконец, многократное облучение микроволнами обоих интенсивностей (суммарно 4,5—45,5 часа), к которому животные адаптировались, уменьшало смертность от ионизирующего излучения примерно в полтора раза.

3. При локальном ионизирующем облучении области позвоночника по направлению к хвосту дозой 950 *р* предварительное воздействие микроволнами (100 *мвт/см*^{2}, 3—6 час.) снижало смертность с 38% до нулевой.

Менее значительные результаты получены при ионизирующем облучении головы животных: при дозах 5000 и 10 000 *р* облучение микроволнами не влияло на время выживания и только при дозе 2500 *р* отмечено некоторое увеличение времени выживания — от 22 до 43 час.

4. У мышей, выживших после облучения микроволнами (100 *мвт/см*^{2}, 10 мин. или по 10 мин. в течение 14 дней до гибели 30% животных) и через 14—30 дней подвергавшихся воздействию гамма-лучами, процент смертности уменьшался только при дозе 800 *р* (с 75,9 до 40), а при дозах 700 и 900 *р* оставался неизменным.

Авторы рассматривают эти эффекты с позиций стрессорного действия микроволн, для которого, как указывалось выше, характерно повышение количества лейкоцитов, особенно нейтрофилов. Вместе с тем они подчеркивают, что при одновременном действии микроволн и ионизирующих излучений это повышение в 16 раз больше (!), чем при действии одних только микроволн. Тот факт, что повышение содержания лейкоцитов и быстрое восстановление их нормального количества происходит либо при одновременном облучении, либо при микроволновом сразу после ионизирующего, свидетельствует о том, что в течение короткого критического времени после ионизирующего облучения [5] микроволновое облучение, по-видимому, может стимулировать усиленное образование лейкоцитов. Авторы обращают также внимание на снижение парциального давления кислорода в артериальной крови при облучении микроволнами, что может рассматриваться

[5] Установлено (Michaelson et al., 1963), что в течение короткого времени после ионизирующего облучения костный мозг продолжает производить лейкоциты.

как показатель повышения сопротивляемости к ионизирующим облучениям.

Значительно более тонкое влияние микроволн на сопротивляемость животных к ионизирующему излучению обнаружено в других исследованиях (Пресман, Левитина, 1962в): у крыс, в течение 25 дней по 30 мин. облучавшихся непрерывными микроволнами малой интенсивности (2800 *Мгц*, 10—15 *мвт/см*^{2}), в три раза против обычного понизилась смертность от последующего ионизирующего облучения (600 *р*, гамма-лучи). Характерно, что облучение импульсными микроволнами с той же средней интенсивностью и при прочих равных условиях не изменило процента смертности по сравнению с контролем. Такое влияние нельзя, конечно, объяснить тепловым стрессорным действием микроволн, так как их интенсивности были слишком малы. Вместе с тем, как мы покажем далее, увеличение количества лейкоцитов отмечалось и под действием микроволн нетепловых интенсивностей. Возможно, это объясняется непосредственным воздействием микроволн на функции таламо-гипоталамической области головного мозга, которая регулирует содержание лейкоцитов в крови.

Следует упомянуть еще об одном эффекте одновременного действия ионизирующих излучений (2620 *р*, 220 *кв*) и микроволн частотой 3000 *Мгц* (Cater et al., 1964). У крыс с трансплантированной раковой опухолью печени при таком воздействии (нагревании опухоли микроволнами до 47°) развитие опухоли протекало медленнее, а смертельный исход наступал позднее, чем при воздействии каждым из факторов в отдельности.

Проводились исследования и с постоянным магнитным полем. В одних опытах (Barnothy, 1963б) мыши подвергались действию поля с напряженностью 4200 *э* на протяжении 14—20 дней, а затем воздействию гамма-лучей (800 *р*, 33—100 *р/мин*). Смертность при этом снизилась в среднем на 26,7±3,2% по сравнению с мышами, не подвергнутыми действию магнитного поля, а количество лейкоцитов составляло 13% от нормального на 10-й день после гамма-облучения (тогда как у мышей, подвергнутых только гамма-облучению, оно составляло 9% от нормального). В других исследованиях (Amer, Tobias, 1965) было обнаружено, что в крыле малого хрущака (*Tribolium confusum*) процент морфологических изменений, возникающих под действием ионизирующих излучений, уменьшается, если одновременно прикладывается магнитное поле с напряженностью 8000 *гс*. Этот защитный эффект зависел от температуры и от парциального давления кислорода. Автор считает, что магнитное поле влияет на гормональную регуляцию.

Небольшое ослабление летального действия ионизирующего излучения (900 *р*) на мышей наблюдалось и при одновременном воздействии низкочастотного электрического поля (50 *гц*, 8—12 *в/см*) (Moos, 1964). В период между пятым и одиннадцатым

днями после такого воздействия число смертных случаев было на 20—50% меньше, чем при одном только ионизирующем облучении.

Итак, в опытах по действию ЭМП на злокачественные опухоли как характер наблюдаемых эффектов, так и их зависимость от параметров ЭМП указывают на то, что дело здесь не в тепловом действии ЭМП, а в их влиянии на регуляторные функции в организме, на регуляцию внутриклеточных процессов. Это находит подтверждение в соответствующих исследованиях in vitro, которые будут описаны в главе 9. При лучевых повреждениях обнаруживается влияние ЭМП на регуляцию кроветворения и на другие системы нервно-гуморальной регуляции в организме.

Заключая главу, следует отметить, что рассмотренные эффекты необратимого и стойкого действия ЭМП в большинстве случаев наблюдались при высоких интенсивностях воздействия. И если в этих случаях все же проявлялась некая нетепловая «электромагнитная» сторона действия ЭМП, то это происходило на фоне теплового эффекта, который часто оказывался преобладающим, а иногда и маскировал нетепловые эффекты. Вместе с тем, как мы видели, имеют место и нетепловые эффекты; они проявляются в исследованиях с ЭМП малых интенсивностей, когда нагревание ткани оказывается незначительным или вообще отсутствует.

Глава 7

ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА НЕРВНО-ГУМОРАЛЬНУЮ РЕГУЛЯЦИЮ В ЦЕЛОСТНЫХ ОРГАНИЗМАХ

Влияние ЭМП на нервно-гуморальную регуляцию обнаруживается как по внешне проявляемым реакциям, так и по нарушениям характера и интенсивности физиологических процессов. К первым эффектам можно отнести изменения поведения животных: безусловные реакции на ЭМП, изменение ранее выработанных условных рефлексов; ко вторым — изменения функций различных отделов нервной системы, нарушения гуморальной регуляции, изменения характера и интенсивности биохимических процессов и т. п.

Влияние ЭМП разных частот на нервно-гуморальную регуляцию давно уже является предметом многочисленных исследований. Этому аспекту биологического действия ЭМП посвящен ряд обзорных статей и монографий (Лившиц, 1957а, 1958; Гордон, 1964а; Холодов, 1965а, 1965б; Frey, 1965). Мы рассмотрим главным образом исследования последних лет.

7.1. Влияние ЭМП на поведение животных

Действие ЭМП на поведение животных проявлялось в изменении общей двигательной активности, в стремлении животных уйти из зоны воздействия, в ориентационных реакциях на ЭМП.

Под действием постоянного магнитного поля с напряженностью в несколько тысяч эрстед двигательная активность мышей возрастала примерно на 50% (J. Barnothy, M. Barnothy, 1960). Но значительно более эффективное влияние наблюдалось в опытах с птицами семейства воробьиных (Эльдаров, Холодов, 1964; Эльдаров, 1965). Птиц помещали в магнитное поле с напряженностью всего 0,6—1,7 *э* и регистрировали их двигательную активность в течение нескольких дней с 9 до 19 час. Опыты (с соответствующим контролем) проводились при трех видах освещения — естественном, слабом искусственном и сильном искусственном.

Под действием магнитного поля двигательная активность суммарно возрастала в 3,5—4 раза по сравнению с контролем, а в вечерние часы даже в десятки раз. Изменялся и характер распределения интенсивности этой активности в зависимости от времени суток: вместо постепенного ее снижения к вечеру при естественной освещенности отмечался второй максимум в 15 час., при слабой искусственной освещенности — максимум активности в 12 час., а при сильном искусственном освещении — вместо двух максимумов в 11 и 17 час. один в 14 час.

Магнитное поле повышало двигательную активность и у рыб. В опытах с колюшками активность возрастала на 64% под действием поля с напряженностью 50—150 *э* (Холодов, 1958).

Непосредственные двигательные реакции на электрическое поле наблюдались у мышей (Соловьев, 1963б): импульсы поля с напряженностью 100 *кв/м* вызывали синхронные двигательные реакции. Влияние электрического поля на двигательную активность отмечено у мышей (Moos, 1964): у животных, находящихся в поле с напряженностью 8—12 *в/см*, в ночное время активность повышалась на 69%, а в дневное либо повышалась на 49%, либо понижалась на 36%. Сообщается о повышении двигательной активности у крыс, находившихся в зоне действия ЭМП 450—950 *Мгц* (Eakin, Thomson, 1962).

Представляют значительный интерес наблюдения за двигательной активностью насекомых, подвергаемых воздействию электрического поля (Edwards, 1960а). Активность мушек дрозофил временно понижалась при внезапном воздействии полем 10—62,5 *в/см*. При этом период сниженной активности удлинялся, если изменяли полярность воздействия с интервалом в 5 мин. Более кратковременное снижение активности и при более высоких напряжениях поля наблюдалось у синих мух (Calliphora). Автор обращает внимание на известный факт, что в предгрозо-

вые периоды возрастает двигательная активность двукрылых насекомых. Однако он связывает это явление не с воздействием возрастающей напряженности поля, а с увеличением токов в атмосфере, т. е. количества аэроионов. Это подтверждается результатами соответствующих экспериментов (Edwards, 1960б), в которых воздействие ионного тока плотностью $5{,}2 \cdot 10^{-14}$ *а/см²* примерно через 40 мин. вызывало повышение двигательной активности у синих мух. Между тем другие авторы указывают, что изменение в атмосфере ионных токов от $3 \cdot 10^{-16}$ до $3 \cdot 10^{-11}$ *а/см²* приводит к возрастанию у этих насекомых двигательной активности.

Реакция избегания при воздействии низкочастотного ЭМП (1—10 *кгц*, 9 *в/см*) наблюдалась у золотистого хомячка (Schua, 1953), а зону излучения СВЧ-поля (2800 *Мгц*, 40—165 *мвт/см²*) избегают собаки (Michaelson et al., 1958). Наблюдались также и ориентационные реакции относительно направления СВЧ-излучений в диапазонах 2800 и 24 000 *Мгц*: собаки поворачивали голову к источнику излучений, а крысы располагали тело в этом направлении.

Интересные ориентационные реакции наблюдались у муравьев (Jaski, 1960): в зоне действия СВЧ-полей (10 000 *Мгц*) насекомые ориентировали свои усики вдоль электрических силовых линий и теряли способность «сообщать» другим муравьям о местонахождении пищи. Интересно, что у крупных муравьев, использованных в этих экспериментах, размеры усиков были близки к четверти длины волны.

Упомянем здесь о серии исследований (Brown, 1962б), в которых была открыта способность планарий и улиток ориентироваться относительно направления магнитного поля Земли (эти исследования подробно описаны в третьей части книги). Наконец, в многочисленных экспериментах наблюдались двигательные и ориентационные реакции одноклеточных организмов на электрическое поле и ЭМП широкого диапазона частот — от низкочастотных до сверхвысокочастотных (эти эффекты описаны в гл. 9).

Рассмотренные двигательные реакции животных следует, очевидно, связывать с воздействием ЭМП на нервную систему, поскольку и двигательная активность, и оборонительная реакция (избегание), и ориентация животных возникают обычно при действии различных факторов либо на органы чувств, либо непосредственно на различные отделы нервной системы. Однако более убедительные доказательства воздействия ЭМП на нервную систему получены при исследовании условнорефлекторных и безусловнорефлекторных реакций.

7.2. Влияние ЭМП на условные и безусловные рефлексы

Влияние ЭМП на условные рефлексы изучалось в двух основных направлениях: 1) ЭМП использовались как условный раздражитель при выработке условнорефлекторных реакций; 2) исследовалось влияние ЭМП на условнорефлекторные реакции, вызванные другими условными раздражителями.

В опытах с магнитным полем как условным раздражителем попытки выработать условный рефлекс у земноводных (лягушка), птиц (голуби и снегири) и млекопитающих (кролик) не увенчались успехом. Однако магнитное поле действовало как условный раздражитель на рыб (Холодов, 1958): в ответ на кратковременные воздействия (10—20 сек.) полем с напряженностью 10—30 *э* у рыб (караси, колюшки и др.) вырабатывался электрооборонительный условный рефлекс. Ранее предполагалось (Lissman, 1958), что у рыб органом, воспринимающим магнитное поле, служит орган боковой линии. Однако дальнейшие исследования (Холодов, 1963а) не подтвердили этого предположения. Оказалось, что денервация этого органа не влияла на выработку условного рефлекса. Не влияло на эффект также и повреждение различных структур мозга (переднего мозга, мозжечка, зрительных покрышек). Только повреждение промежуточного мозга нарушало реакцию рыб на магнитное поле.

У рыб удалось выработать условные рефлексы на весьма малые изменения градиента электрического поля (Lissman, Macin, 1958) и на импульсы электрического поля различной длительности (от сотых долей миллисекунды до нескольких миллисекунд) и при различной частоте повторения (от отдельных импульсов до сотен *имп/сек*) (Lissman, Machin, 1963).

У человека удалось выработать (Петров, 1952) электрооборонительный условный рефлекс на включение низкочастотного (200 *гц*) ЭМП, создаваемого с помощью вибратора, расположенного над головой испытуемого. Однако этот рефлекс был неустойчивым.

Значительный интерес представляют исследования, в которых условный сосудистый рефлекс у человека (выявляемый методом плетизмографии) вырабатывался на высокочастотное поле 735 *кгц* весьма малой интенсивности — от $2{,}2 \cdot 10^{-4}$ до $3{,}3 \cdot 10^{-4}$ *в/м* (Плеханов, 1965; Плеханов, Ведюшкина, 1966). Для выработки рефлекса достаточно было 13—25 сочетаний ЭМП с безусловным раздражителем (холод), и сохранялся он довольно долго.

Обнаружено влияние низкочастотного ЭМП на поведение мышей в Т-образном лабиринте (Аминеев, Ситкин, 1965). Животные попадали в лабиринт, пробегая вдоль оси соленоида, питаемого переменным напряжением 100 *гц*, создающим напряжен-

ность поля на оси 300—470 э. Это воздействие не влияло на процесс обучения к повороту в определенную сторону, но переучивание животных в поле происходило на 36—40% быстрее, чем без него. Авторы считают это проявлением растормаживающего влияния ЭМП.

В качестве условного раздражителя удалось применить и СВЧ-поле (Малахов и др., 1963). У мышей вырабатывался условный рефлекс на кратковременные (20 сек.) воздействия СВЧ-полем с частотой 2200 *Мгц* и интенсивностью 20 *мвт/см*^{2}, после 30—50 сочетаний с безусловным раздражителем (электрораздражение). Угашение рефлекса наступало после 4—7 воздействий без подкрепления.

Значительно больше экспериментальных данных получено в исследованиях влияния ЭМП на ранее выработанные условные рефлексы. Характер этого влияния зависел от вида животных, от типа высшей нервной деятельности, от параметров воздействующего ЭМП и от условий воздействия.

Была поставлена серия экспериментов, в которых крыс подвергали многократному воздействию импульсными СВЧ-полями малой, нетепловой интенсивности (10 *мвт/см*^{2}) трех частотных диапазонов — миллиметрового, сантиметрового (10 *см*) и дециметрового (Лобанова, 1959, 1964б; Лобанова, Толгская, 1960).

После выработки положительного и дифференцировочного рефлекса животных подвергали ежедневному облучению по 30—60 мин. и ежедневно производили оценку условнорефлекторной деятельности по величине скрытого (латентного) периода — интервала времени между сигналом и двигательной реакцией, а также по проценту случаев нарушения дифференцировочной реакции.

Облучение миллиметровыми волнами оказывало сравнительно слабое действие: только после 48—52 сеансов отмечалось незначительное уменьшение латентного периода (на свет и звук) и нарушение дифференцировочной реакции (в 62% случаев).

Облучение сантиметровыми волнами (всего 36 сеансов) давало значительно больший эффект. Уже после первых сеансов отмечалось выпадение положительных условных рефлексов, а к концу облучений латентный период увеличился в три-четыре раза (с 2 до 7 сек.). Однако нарушений дифференцировочных реакций не отмечалось. Восстановление происходило через 8 недель.

При воздействии дециметровыми волнами после 50—52 сеансов несколько уменьшался латентный период (до 17—74% от контрольного) и в 50% случаев нарушалась дифференцировка. После последующих 54 сеансов возникали противоположные изменения. Во всех описанных опытах отмечены повышение возбудимости и ослабление активного торможения в первый период воздействий и понижение возбудимости и даже развитие запредельного торможения — во второй. Восстановление нормальных

реакций наступала через 3—8 недель после прекращения воздействий.

В исследованиях с СВЧ-полями более высоких (тепловых) интенсивностей наблюдались по существу те же эффекты: облучения крыс 10-сантиметровыми волнами с интенсивностью от 16 до 94 *мвт/см*^{2} по 1 мин. в день приводили сначала к повышению возбудимости (после 14—20 сеансов), а затем к ее понижению (Minecki et al., 1962; Minecki, Romanik, 1963); облучение крыс при длине волны 1,25 *см* с интенсивностью 109 *мвт/см*^{2}, по 15—30 мин. в день, приводило к увеличению латентного периода уже после трех сеансов (Tallarico, Ketchum, 1959); однократное облучение мышей 3-сантиметровыми волнами с интенсивностью 400 *мвт/см*^{2} в течение 5 мин. вызывало выпадение условных реакций в 28% случаев и нарушение дифференцировки в 68% случаев (Городецкая, 1960, 1964а).

В опытах с собаками выявлена значительно более сложная зависимость эффектов ЭМП от условий воздействия и от типа высшей нервной деятельности животных: во-первых, воздействия с малыми интенсивностями вызывают более значительные изменения условнорефлекторной деятельности, чем воздействия с высокими интенсивностями; во-вторых, воздействие на область головы более эффективно, чем на всю боковую поверхность тела; в-третьих, если воздействие на животных с сильным типом высшей нервной деятельности приводит к определенным нарушениям условнорефлекторной деятельности, то в опытах с животными слабого типа эти нарушения либо носят неопределенный по направленности характер, либо происходит нарушение всей высшей нервной деятельности; в-четвертых, наряду с нарушением условных рефлексов происходит значительное изменение и безусловных. Для иллюстрации этих особенностей приведем результаты некоторых исследований.

УВЧ-полями (50 *Мгц*) значительной интенсивности воздействовали на височную, лобную и затылочную области головы собак и оценивали изменения условнорефлекторной деятельности по интенсивности слюноотделения и по нарушению дифференцировочных рефлексов (Лившиц, 1957а, 1957б, 1958). У животных с сильным типом нервной системы в 2—3 раза повышался рефлекс и нарушалась дифференцировка, а у животных со слабым типом, наоборот, повышалось слюноотделение, но ухудшалась дифференцировка. Эти эффекты часто происходили при сравнительно слабых воздействиях (7—12 *вт* на электроды) и отсутствовали при более сильных (20—55 *вт*).

При воздействии интенсивными СВЧ-полями (100—200 *мвт/см*^{2}) на боковую поверхность тела собак (Суббота, 1957б, 1958) снижалось слюноотделение и почти в три раза увеличивался латентный период этой реакции, но дифференцировка не нарушалась. Подобные эффекты были явно выраженными у животных

сильного типа и неопределенными у животных слабого типа. Облучение при малых интенсивностях (5—10 *мвт/см*², 1 час) приводило к повышению рефлекса и латентного периода (до 24%) у животных сильного уравновешенного типа, но к снижению обеих величин у животных сильного неуравновешенного типа. Многократные воздействия с той же интенсивностью (по 2 часа в день) после 18 сеансов приводили к усилению слюноотделения и удлинению латентного периода у животных сильного типа.

Описанные эксперименты показывают, что СВЧ-поля большой интенсивности угнетают условнорефлекторную деятельность у собак, а малые интенсивности приводят, наоборот, к усилению. Однако опыты с еще меньшими интенсивностями привели к иному результату (Светлова, 1962; цит. по Лобановой, 1964б): облучение боковой поверхности тела собаки дециметровыми волнами с интенсивностью всего 2 *мвт/см*² приводило к угнетению рефлекса и увеличению латентного периода; многократные облучения с интенсивностью 0,2—0,3 *мвт/см*² оказывали также угнетающее действие.

Стимулирующее действие ЭМП малой интенсивности обнаружено и в диапазоне высоких и ультравысоких частот (Салей, 1964). Воздействие на голову собаки ЭМП с частотами 27, 30, 39, 94, 102 и 120 *Мгц* при интенсивности 3 *в/см* в течение 20 мин. вызывало повышение безусловнорефлекторного выделения слюны на 35—65%. Еще в большей степени изменялась концентрация белка в слюне (на 87—108%). Характерно, что эти функциональные сдвиги в деятельности слюнной железы оказались более продолжительными при воздействии с напряженностью в 3 *в/см*, чем при более высокой напряженности — 25 *в/см*, вызывающей повышение температуры в тканях слюнной железы.

Значительный интерес представляют исследования (Кицовская, 1960, 1964а) влияния импульсных СВЧ-полей на особую безусловную реакцию у специально выведенной популяции крыс, отвечающих на звук звонка резкой двигательной реакцией или судорожными припадками [1].

Группы животных подвергались воздействию дециметровыми, 10-сантиметровыми, 3-сантиметровыми и миллиметровыми волнами с интенсивностью 10 *мвт/см*² по 1 часу в день. Оценивался характер изменения реакций на звук по мере проведения сеансов и процент случаев, в которых наблюдались изменения. При всех этих воздействиях наблюдался однотипный эффект — понижение чувствительности животных к звуковому раздражению. Однако

---

[1] У таких животных через 5—15 сек. после выключения звонка наступает первая волна возбуждения — резкие движения, затем как защитная реакция возникает тормозной процесс — состояние покоя в течение 10—20 сек. — и, наконец, наступает вторая волна возбуждения, которая может закончиться судорожным припадком. При слабости тормозного процесса уже первая волна возбуждения может закончиться припадком.

выраженность этого эффекта снижалась по мере укорочения длины волны.

Облучение дециметровыми волнами уже после 1—4 сеансов приводило к значительному ослаблению реакции: в 83% случаев двухволновая реакция, заканчивающаяся припадком, переходила в двигательную без припадка, либо реакция вообще отсутствовала; одноволновая реакция с припадком переходила в двухволновую без припадка.

10-сантиметровые волны давали эффект, начиная с 23—25-го сеанса, но в 100% случаев одноволновая реакция с припадком переходила в двигательную двухволновую, а животные, дававшие двухволновую двигательную реакцию, после облучения вообще переставали реагировать на звук.

Эффект 3-сантиметровых волн проявлялся после 37—40 сеансов: в 58% случаев одноволновые и двухволновые реакции с припадком сохранялись, но интенсивность припадков уменьшалась.

Миллиметровые волны в 75% случаев также вызывали только уменьшение интенсивности реакций после 48 сеансов. Однако это проявлялось главным образом в увеличении летентного периода реакции, удлинении первой волны возбуждения и укорочении периода торможения.

Зависимость подобных эффектов от интенсивности облучения исследовалась в 10-сантиметровом диапазоне. При интенсивности 1 *мвт/см²* и продолжительности 1,5 часа изменения проявлялись также через 23—25 сеансов, но наибольшее их число — 83% случаев — отмечалось только после 117 сеансов облучения.

Рассмотренные экспериментальные данные с достаточной очевидностью указывают на то, что влияние ЭМП на условные и безусловные рефлексы связано с воздействием на центральную нервную систему. И можно уже подметить некоторые характерные особенности этого воздействия.

Очевидно, что ЭМП либо оказывает на центральную нервную систему рефлекторное влияние — через периферические элементы нервной системы, либо непосредственно действует на структуры головного мозга. Первая особенность воздействия ЭМП заключается в том, что именно той или другой локализацией воздействия ЭМП определяется характер возникающего эффекта. В этом можно убедиться, сопоставляя характер и выраженность наблюдаемых эффектов ЭМП разных частотных диапазонов с соответствующей глубиной проникновения энергии в ткани тела (см. § 4.3). Постоянное магнитное поле и ЭМП до УВЧ-диапазона проникают в структуры головного мозга как у мелких, так и у крупных животных, а дециметровые и 10-сантиметровые волны — только у мелких. И мы видели, что в таких случаях все эти поля вызывают однотипные эффекты — либо условное раздражение, либо изменение условнорефлекторной деятельности, либо изменение безусловных рефлексов. Значительно менее вы-

раженными (а иногда и обратными) были эти эффекты при действии ЭМП 3-сантиметрового диапазона и особенно миллиметровых волн, практически полностью поглощающихся в кожном слое. Далее, мы видели, что воздействие на голову вызывало более значительные эффекты, чем общее облучение тела.

Вторая характерная особенность — своеобразная зависимость влияния ЭМП на центральную нервную систему от интенсивности воздействия. В одних случаях при меньшей интенсивности наблюдались более сильные эффекты (изменение условных рефлексов при УВЧ-облучении собак), в других — по мере уменьшения интенсивности чередовались противоположные эффекты: фаза угнетения условных рефлексов при интенсивностях 100—200 *мвт/см²*, стимуляция их при 5—10 *мвт/см²* и снова фаза угнетения при 0.2—2 *мвт/см²*.

Третья особенность — кумулятивный характер многократных воздействий ЭМП слабых интенсивностей. Здесь мы уже сталкиваемся с противоположными фазами эффектов — повышением возбудимости центральной нервной системы после первых воздействий и ослаблением в результате последующих.

Наконец, четвертая особенность заключается в том, что непосредственное воздействие ЭМП на головной мозг было стимулирующим, когда ЭМП использовались как условный раздражитель и при безусловных рефлексах, но влияние на ранее выработанные условные рефлексы носило тормозной характер.

7.3. Влияние ЭМП на нервную регуляцию сердечно-сосудистой системы

При изучении влияния ЭМП на регуляцию физиологических процессов наиболее убедительно доказано действие ЭМП от высокочастотного до сверхвысокочастотного диапазонов на функции сердечно-сосудистой системы. Значительное число таких данных получено при клинических обследованиях людей, подвергавшихся хроническому воздействию ЭМП; наиболее широко такие работы поставлены в СССР (Орлова, 1960а, 1960б; Садчикова, 1964; Кончаловская и др., 1964 и др.). В табл. 11 приведены типичные результаты таких обследований (Садчикова, 1964).

Как видно из таблицы, хроническое воздействие ЭМП разных частот приводит к однотипным изменениям функций сердечно-сосудистой системы — понижению кровяного давления, замедлению ритма сердца, замедлению внутрижелудочковой проводимости. Однако наиболее выражены эти изменения при воздействии СВЧ-диапазона, когда электромагнитная энергия поглощается в поверхностных тканях тела человека. Можно предположить поэтому, что в основе этих изменений лежит непосредственное воздействие ЭМП на поверхностные рецепторы

Таблица 11

Нарушения функции сердечно-сосудистой системы у людей, подвергавшихся хроническому воздействию ЭМП разных частот

Параметры ЭМП		Отношение процента случаев с данным нарушением под воздействием ЭМП к проценту случаев в контроле (без воздействия)		
диапазон	интенсивность	пониженное кровяное давление (артериальная гипотония)	замедленный ритм сердцебиения (брадикардия)	удлиненный до 0,1 сек интервал QRS в электрокардиограмме (замедленная внутрижелудочковая проводимость)
СВЧ (сантиметровые волны)	От одного до нескольких *мвт/см²*	1,85	24	11,5
	<1 *мвт/см²*	2,0	16	12,5
УВЧ	Малая, не тепловая	1,2	8	21
ВЧ коротковолновый	Десятки — сотни *в/м*	0,21	12	—
ВЧ средневолновый	От сотен до 1000 *в/м*	1,2	5	—
Процент случаев в контроле		14%	3%	2%

(либо их раздражение, либо изменение их функционального состояния). Это предположение согласуется и с данными о физиологии нервной регуляции функций сердечно-сосудистой системы. Известно, что совокупность таких изменений характерна для ваготонических сдвигов в вегетативной нервной регуляции, происходящих при действии самых различных раздражителей на поверхностные рецепторные зоны (Гинецинский и Лебединский, 1956).

Экспериментальные исследования с животными подтверждают ваготонический характер действия ЭМП. Наряду с этим они выявляют и другие особенности реакций сердечно-сосудистой системы на ЭМП, а также позволяют установить некоторые черты зависимости этих реакций от параметров ЭМП и локализации их воздействия.

Влияние хронического облучения импульсными СВЧ-полями на кровяное давление исследовалось и в экспериментах с крысами (Гордон, 1964б). 220 животных были разделены на четыре опытные группы и одну контрольную. Они подвергались соответственно облучению волнами дециметрового, 10-сантиметрового, 3-сантиметрового и миллиметрового диапазонов. Во всех группах

интенсивность облучения составляла 10 *мвт/см²*, продолжительность — 1 час в день. Сеансы облучения проводились на протяжении 6—8 мес.

На рис. 39 приведены графики изменения давления в зависимости от числа сеансов. Как видно, при воздействии дециметровыми и 10-сантиметровыми волнами изменения носили двухфазный характер — повышение в первые недели облучения и понижение, начиная с 20—24-й недели. При воздействии 3-сантиметровыми и миллиметровыми волнами отмечалась только одна фаза — понижение давления, начинающееся уже с первых недель облучения. Сравнение влияния импульсных и непрерывных 10-сантиметровых волн показало, что конечный их эффект одинаков. Однако при непрерывных волнах изменения начинались значительно раньше (на 8-й неделе облучений) и носили однофазный характер.

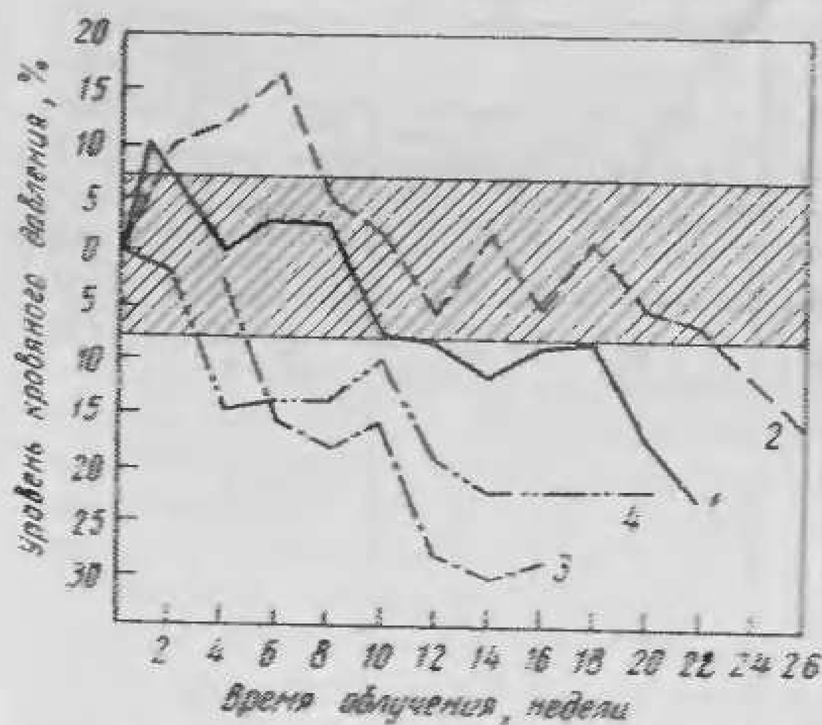


Рис. 39. Изменение кровяного давления у крыс при хроническом облучении СВЧ-полями (по 1 часу в день) малой интенсивности

1 — дециметровые волны, *2* — 10-сантиметровые волны, *3* — 3-сантиметровые волны, *4* — миллиметровые волны. Заштрихованная область — контроль

Во всех случаях после прекращения облучений давление постепенно (на протяжении 8—10 недель) возвращалось к норме.

Различия между влиянием длинноволнового и коротковолнового диапазонов СВЧ-полей проявились в зависимости величины эффекта от интенсивности облучения. Из табл. 12 видно, что при интенсивности 1 *мвт/см²* 3-сантиметровые волны практически не вызывают эффекта, а увеличение интенсивности от 10 до 40—100 *мвт/см²* не изменяет величины эффекта 3-сантиметровых и миллиметровых волн. Дециметровые и 10-сантиметровые волны оказывают действие и при интенсивности 1 *мвт/см²*. Особенно примечательно, что величина эффекта 10-сантиметровых волн уменьшается (!) при увеличении интенсивности в 10 раз.

В других исследованиях (Никонова, 1964а) обнаружено влияние высокочастотных ЭМП (500 *кгц*) на уровень кровяного давления у крыс. На протяжении 10 месяцев по 2 часа ежедневно одну группу животных помещали в зону преимущественно электрической составляющей при напряженности 1800 *в/м*, а другую —

в зону магнитной составляющей с напряженностью 50 *а/м*. В первой группе после 5 месяцев воздействия начиналось понижение давления, достигая уровня 5% ниже контрольного ($P < 0,1$), а во второй, начиная с 7-го месяца — понижалось на 10% ниже контроля ($P < 0,01$). Таким образом, изменение было однофазным.

Таблица 12

Понижение кровяного давления у крыс при хроническом облучении СВЧ-полями разных частотных диапазонов при различных интенсивностях

Частотный диапазон	Интенсивность облучения, *мвт/см²*	Понижение уровня кровяного давления по сравнению с контролем, *мм рт. ст.*
Миллиметровый	10	13,7±3,53
	40	19,14±5,81
3-сантиметровый	1	9,2±8,8
	10	23,0±5,01
	100	25,0±5,94
10-сантиметровый	1	14,7±4,4
	10	9,4±2,3
Дециметровый	1	7,2±2,2
	10	17,5±6,06

Рассмотренные исследования приводят к заключению, что характер и выраженность действия ЭМП на функцию сердечно-сосудистой системы зависят в основном от того, производится ли воздействие на периферическую или на центральную нервную систему. Однако более определенные данные по этому вопросу были получены в исследованиях ритма сердца у кроликов в процессе облучения СВЧ-полями различных участков тела (Пресман, Левитина, 1962а, 1962б; Левитина, 1964, 1966б).

В первой серии экспериментов животных облучали импульсными (1 *мксек*, 700 *имп/сек*) и непрерывными волнами 10-сантиметрового диапазона при интенсивностях 7—12 и 3—5 *мвт/см²* (по средней мощности) соответственно. Результаты экспериментов графически представлены на рис. 40 и 41, из которых видно, что облучение вентральной стороны тела вызывает замедление ритма сердца (отрицательный хронотропный эффект), а облуче-

ние дорсальной стороны тела и головы с обеих сторон — противоположный эффект, т. е. учащение ритма (положительный хронотропный эффект). При этом отмечались две особенности: во-первых, отрицательный хронотропный эффект проявлялся сразу же после начала облучения, а положительный главным образом после прекращения облучения; во-вторых, импульсное облучение вызывало более значительные эффекты, чем непрерывное, хотя интенсивность во втором случае была несколько большей.

Уже эти результаты давали основания полагать, что отрицательный хронотропный эффект СВЧ-полей является следствием непосредственного воздействия на периферическую нервную систему, а положительный — на центральную. Это подтвердилось в следующей серии экспериментов, в которой более интенсивное облучение различных участков тела проводилось импульсами непрерывных волн (700—1200 *мвт/см*^{2} в импульсе) или сериями коротких импульсов (длительность 1 *мксек*, 700 *имп/сек*, средняя мощность в серии 350—380 *мвт/см*^{2}) при длительности импульсов к серий 0,1 сек. и частоте повторения 2 раза в секунду. Результаты экспериментов оказались неожиданными: облучение любого участка тела, в том числе и головы, вызывало только отрицательный хронотропный эффект. Однако облучение тех же участков тела с анестезированной (раствором тримекаина) кожной поверхностью не вызывало никаких изменений сердечного ритма.

Сопоставление этих результатов с данными предыдущей серии опытов показало, что: 1) непосредственное воздействие СВЧ-полей на вентральные поверхностные рецепторные зоны вызывает отрицательный хронотропный эффект, независимо от интенсивности, а при облучении дорсальных участков и особенно головы этот эффект возникает только при сравнительно высоких интенсивностях; 2) положительный хронотропный эффект возникает только при непосредственном воздействии СВЧ-полей малой интенсивности на центральную нервную систему и со значительным латентным периодом.

В последующих экспериментах удалось только грубо оценить зависимость положительного хронотропного эффекта от интенсивности облучения (слишком трудна точная дозиметрия). Оказалось, что этот эффект при облучении головы возникает при интенсивностях порядка нескольких *мвт/см*^{2}, тогда как при более высоких интенсивностях (порядка десятков *мвт/см*^{2} и выше) наблюдается отрицательный хронотропный эффект. Наконец, при совсем малых интенсивностях (менее 1 *мвт/см*^{2}) никакого изменения ритма сердца не происходит.

Для того чтобы окончательно убедиться в том, что хронотропные эффекты СВЧ-полей являются результатом воздействия именно на различные отделы нервной системы, были предприня-

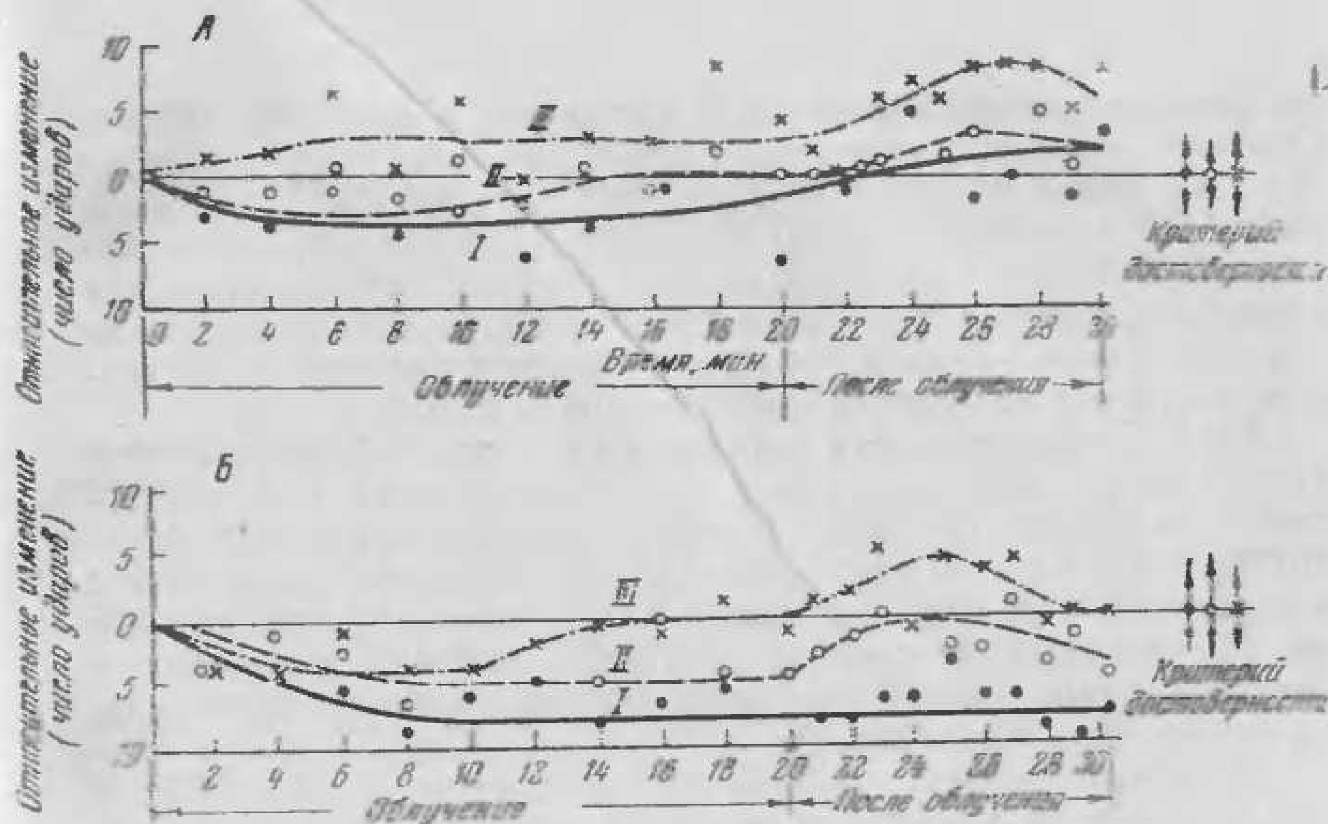


Рис. 40. Изменение частоты сердечных сокращений у кролика в процессе облучения СВЧ-полями малой интенсивности в непрерывном режиме

А — облучение дорсальных частей тела, *Б* — облучение вентральных частей тела, *I* — общее облучение, *II* — облучение спины (в случае *А*) или живота (в случае *Б*), *III* — облучение головы

Рис. 41. Изменение частоты сердечных сокращений у кролика в процессе облучения СВЧ-полями малой интенсивности в импульсном режиме

А — облучение дорсальных частей тела. *Б* — облучение вентральных частей тела. Остальные обозначения см. на рис. 40

ты специальные эксперименты с лягушками (Левитина, 1966а). Отрицательный хронотропный эффект возникал при облучении тела животного с интенсивностью всего 0,06 *мвт/см²*, а такое же облучение головы вызывало положительный хронотропный эффект. При любом нарушении системы нервной регуляции сердца (наркоз, перерезка сердечных нервов) облучение не вызывало изменений ритма сердца. Не было эффекта и при непосредственном облучении денервированного сердца in situ.

Ваготонические сдвиги наблюдались и под действием постоянного магнитного поля (Knepton, Beischer, 1964). При воздействии на голову обезьяны полем с напряженностью 20 000—70 000 *гс* или на область сердца — полем с напряженностью 625 *гс* в течение 40—180 мин. отмечались снижение частоты ритма с 325 до 225, возрастание степени синусовой аритмии, изменения в электрокардиограмме. После прекращения облучения ритм сердца быстро восстанавливался.

Подобный эффект наблюдали (Cassiano et. al., 1966) и при воздействии магнитным полем на человека (33,8 *гс* в течение 1 часа): частота пульса понижалась на 15% ($P = 0,05$).

Интересные данные о ваготоническом влиянии СВЧ-полей получены в исследованиях активности холинэстеразы в крови и органах животных, подвергаемых хроническому облучению дециметровыми, 10-сантиметровыми и миллиметровыми волнами при одинаковой интенсивности (10 *мвт/см²*) и продолжительности облучения 1 час в день (Никогосян, 1960, 1964б). Активность холинэстеразы определялась в крови кроликов и крыс и в различных органах у крыс. Было обнаружено, что все эти виды облучения вызывают однотипный результирующий эффект — снижение активности холинэстеразы. Как видно из табл. 13, величина этого эффекта уменьшается по мере укорочения длины волны. Наиболее сильные изменения при всех длинах волн отмечены в стволе головного мозга, средние — в крови и наименьшие — в печени и сердце. В больших полушариях мозга вообще не наблюдалось изменений. Изменение активности холинэстеразы в крови и органах при хроническом воздействии СВЧ-полей значительно большей интенсивности (100 *мвт/см²*) носило иной характер: в первые сеансы активность повышалась, а в последующие (6—12-й) понижалась. Во всех случаях после прекращения облучений нормальная активность холинэстеразы восстанавливалась через 40—45 дней.

Здесь мы опять сталкиваемся с той же однотипностью эффекта, вызываемого СВЧ-полями разных частот, что и при действии этих полей на функции центральной и вегетативной нервной системы. Имеется различие в выраженности (но не в характере) эффекта при воздействии волнами, поглощающимися в кожном слое (миллиметровые), и волнами, проникающими к глубоко расположенным тканям.

Таблица 13

Сравнительные данные о снижении активности холинэстеразы в крови и органах животных при хроническом воздействии СВЧ-полей

Частотный диапазон	Процент животных, у которых было найдено изменение	Сыворотка крови: число сеансов до появления первых изменений	Сыворотка крови: число сеансов до появления больших изменений	Сыворотка крови: процент изменений относительно контроля	Ствол головного мозга: число сеансов до появления первых изменений	Ствол головного мозга: число сеансов до появления больших изменений	Ствол головного мозга: процент изменений относительно контроля	Печень и сердце: число сеансов до появления первых изменений	Печень и сердце: число сеансов до появления больших изменений	Печень и сердце: процент изменений относительно контроля
Дециметровый	100	10—20	100 (прогрессир. снижение)	36	28	100 (прогрессир. снижение)	48	100	100	12—34
10-сантиметровый	70	30—40	40	27	76	100	20—30	140	140	0—50
Миллиметровый	63	180	180	15	180	180	37	Нет изменений после 180 сеансов		

Примечание. В больших полушариях активность холинэстеразы не изменялась во всех частотных диапазонах даже после 180 сеансов.

Итак, в действии ЭМП на сердечно-сосудистую систему проявляются те же черты, что и в описанных выше нарушениях регуляторных функций нервной системы, а именно: кумуляция слабых воздействий, независимость характера эффекта от частоты ЭМП, зависимость величины эффекта от частоты (связанная главным образом с глубиной проникновения энергии ЭМП), различие в характере эффектов при непосредственном воздействии на периферические и на центральные структуры нервной системы. Особо следует подчеркнуть своеобразную зависимость характера и величины эффектов от интенсивности ЭМП, непосредственно воздействующих на центральную нервную систему: во-первых, при малых и при больших интенсивностях эффекты могут быть обратными, во-вторых, при малой интенсивности эффект может быть более выражен, чем при большой, в-третьих, при интенсивности, превышающей некоторые малые значения, эффект вообще не возникает. С другой стороны, эффекты, возникающие за счет непосредственного воздействия ЭМП на периферические рецепторы, практически не зависят от интенсивности ЭМП в довольно широких пределах.

Как мы видели, влияние ЭМП на центральную нервную систему обнаружено и при наблюдении за поведением животных, и при исследовании условных и безусловных рефлексов, и при изучении сердечно-сосудистых реакций. Но в ряде исследований, проведенных за последние годы, были обнаружены и непосредственные реакции структур головного мозга на ЭМП. Эти исследования проводили в двух основных направлениях: изучалось действие ЭМП на электрическую активность мозговых структур и на чувствительность разных отделов центральной нервной системы к различным раздражителям.

7.4. Влияние ЭМП на электрическую активность мозга и на чувствительность центральной нервной системы к другим раздражителям

Исследования влияния ЭМП на электроэнцефалограмму (ЭЭГ) животных и человека описаны в недавно опубликованной монографии Холодова (1966), где приведена обширная библиография. Поэтому в настоящей главе мы приведем только суммарные данные экспериментальных исследований и рассмотрим некоторые отдельные работы, представляющие особый интерес в плане общей проблемы, обсуждаемой в этой книге,— проблемы биологической активности ЭМП.

Электроэнцефалографические исследования проводили при воздействии ЭМП на голову животных, на отдельные участки тела и, наконец, при общем воздействии (обычно на одну половину тела).

Регистрация начиналась до воздействия ЭМП и продолжалась во время и после воздействия, а в некоторых опытах (из-за наводок на электроды) — только до и после воздействия. Исследования проводили с интактным (неповрежденным) мозгом, с мозгом, в котором были разрушены отдельные подкорковые структуры (электрокоагуляцией), с изолированным мозгом (перерезка на уровне среднего мозга) и, наконец, с нейронально изолированной полоской коры больших полушарий.

Основным результатом многочисленных исследований является экспериментально установленное влияние ЭМП самых различных частот и интенсивностей на электрическую активность коры головного мозга и подкорковых структур. Это влияние проявляется в возникновении изменений ЭЭГ следующих типов:

а) усиление синхронизации — увеличение числа медленных высокоамплитудных волн и «веретен». Эти изменения возникают через значительный промежуток времени (латентный период) после начала воздействия — до десятков и даже сотен секунд;

б) длительная десинхронизация — уменьшение амплитуды основного ритма биопотенциалов и увеличение числа высокоча-

стотных волн. Эти изменения наступают также после длительного латентного периода;

в) кратковременная десинхронизация, быстро возникающая в моменты включения и выключения воздействия поля;

г) реакция последействия, подобная усилению десинхронизации, но наступающая через довольно длительный промежуток времени после прекращения воздействия;

д) возникновение судорожных эпилептоидных разрядов (высокой частоты и амплитуды).

На рис. 42 приведены электроэнцефалограммы, иллюстрирующие такого рода изменения.

Для количественной оценки изменений использовали в основном три величины: «прочность реакции» (процентное отношение числа случаев изменений к общему числу воздействий), длительность латентного периода (в секундах) и увеличение или уменьшение амплитуды биопотенциалов (в *мкв* или %).

Сопоставление результатов исследований (проводившихся в основном на кроликах) при различных экспериментальных условиях позволяет отметить некоторые типичные черты зависимости характера и величины изменений ЭЭГ от частоты и интенсивности ЭМП, от локализации воздействия и функционального состояния структур, подвергаемых воздействию.

Отмечается однотипность характера изменений ЭЭГ при воздействии на голову животного ЭМП различных частот (от сотен *кгц* до 2000—3000 *Мгц*), а также постоянного магнитного поля. Основная реакция, наблюдаемая при всех этих воздействиях,— увеличение числа медленных высокоамплитудных колебаний и числа веретен в биопотенциалах коры больших полушарий; в некоторых случаях отмечается также повторение этой реакции после прекращения воздействия и, наконец, кратковременные реакции десинхронизации в моменты включения и выключения воздействия. При переходе от одной частоты ЭМП к другой отмечаются только некоторые вариации в основной реакции: в УВЧ-диапазоне наиболее четко выражены медленные высокоамплитудные колебания и реже отмечается появление веретен, в СВЧ-диапазоне — равно выражены оба эти изменения, а при действии постоянного магнитного поля основным изменением становится появление веретен (Чиженкова, 1966).

Основная реакция остается однотипной и в широком интервале интенсивностей ЭМП (Никонова, 1965б; Зенина, 1964; Гвоздикова и др., 1964; Холодов, 1966; Ниженкова, 1966): для высокочастотных ЭМП — от 50 до 1000 *в/м*, для УВЧ-полей — от 30 до 5000 *в/м*, в СВЧ-диапазоне — от 0,2 до 1000 *мвт/см*^{2} и для постоянного магнитного поля — от 200 до 1000 *э*.

При воздействии интенсивных ЭМП разных частот не только на голову, но и на другие части тела кролика наряду с основной реакцией отмечается и другая комбинация изменений ЭЭГ —

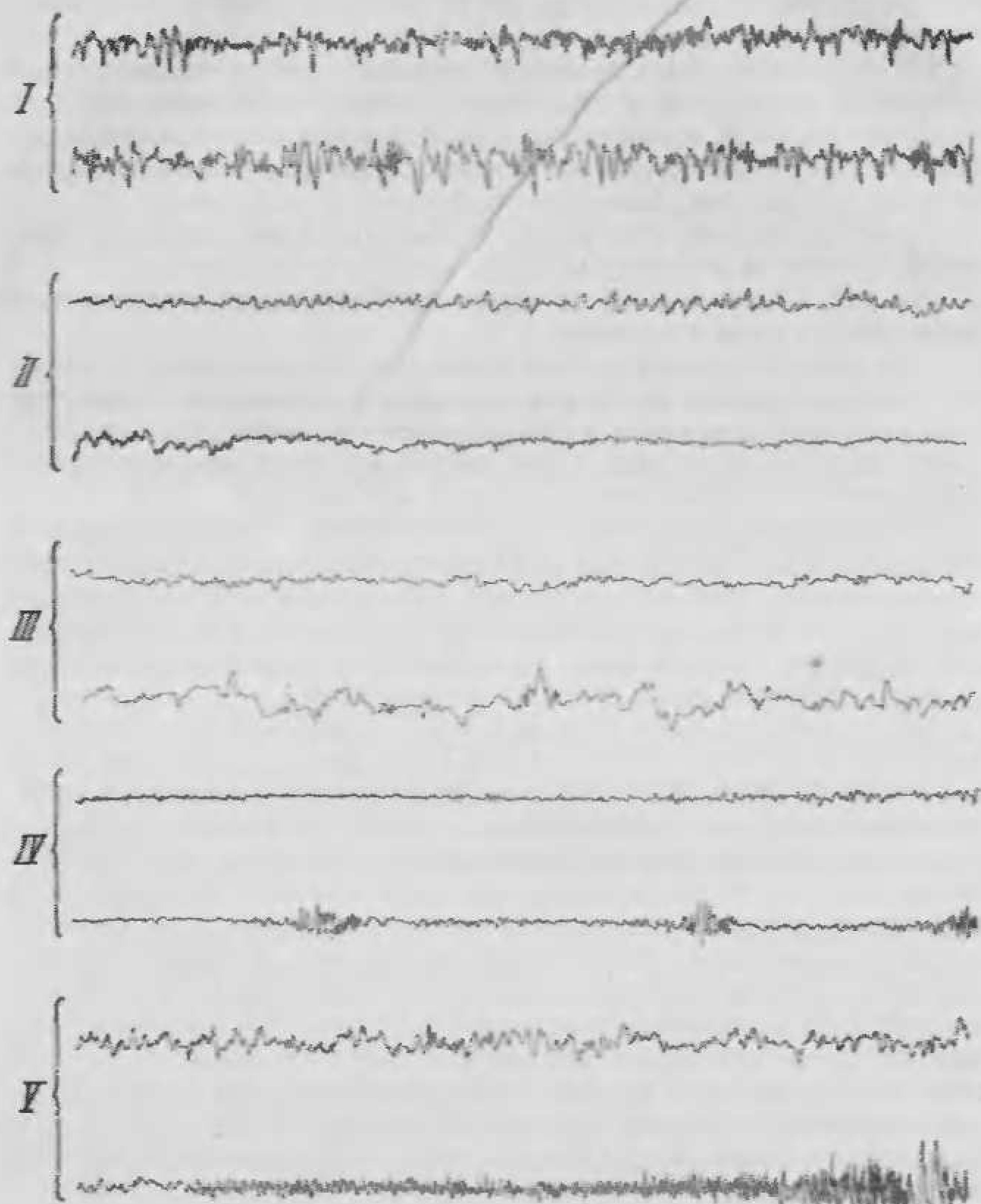


Рис. 42. Характерные изменения ЭЭГ у кролика, возникающие под действием ЭМП различных частот и постоянного магнитного поля

I — увеличение амплитуды биопотенциалов основного ритма (синхронизация), *II* — уменьшение амплитуды биопотенциалов основного ритма (десинхронизация), *III* — увеличение числа медленных волн; *IV* — появление «веретен», *V* — появление судорожных (эпилептоидных) разрядов

уменьшение амплитуды биопотенциалов (десинхронизация) и увеличение числа высокочастотных колебаний. Такие изменения наблюдались под действием ЭМП низких, высоких и ультравысоких частот высокой интенсивности (Шмелев, 1964а; Холодов, 1966). А при СВЧ-облучении боковой поверхности тела животного подобные реакции могут преобладать над основной и при малых интенсивностях порядка 2—10 *мвт/см²* (Гвоздикова и др., 1964). Наконец, такие реакции наблюдались и при непосредственном воздействии на периферические нервы: при облучении седалищного нерва кошки 3-сантиметровыми волнами высокой интенсивности отмечено уменьшение амплитуды биопотенциалов, как это иллюстрирует рис. 43 (Flemingеt et al., 1961). А при облучении дорсальной поверхности тела крысы интенсивными волнами диапазона 1,25 *см*, полностью поглощающимися в коже, на 7-й минуте после облучения отмечались высокочастотные колебания биопотенциалов (Keplinger, 1958).

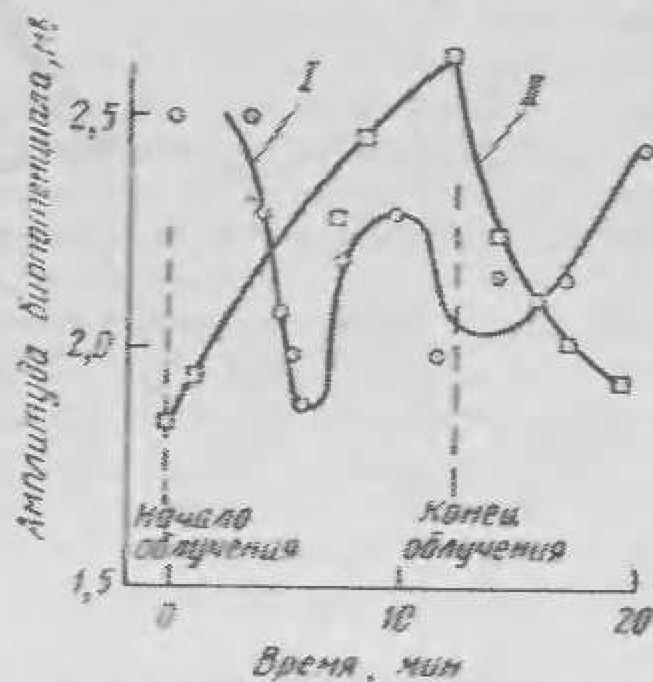


Рис. 43. Изменение амплитуды биопотенциалов мозга у кошки в процессе облучения седалищного нерва волнами 3-сантиметрового диапазона

I — амплитуда биопотенциалов, *II* — температура нерва

Величины, характеризующие электрические реакции мозга кроликов на ЭМП, также незначительно варьируют в зависимости от частоты ЭМП при сопоставимых интенсивностях. При воздействии постоянного магнитного поля 200—1000 *э* прочность основной реакции находится в пределах 37—52%, а под действием ЭМП от высоких до сверхвысоких частот (30—1000 *в/м*, 2—10 *мвт/см²*) — в пределах 40—49%; латентные периоды при воздействии постоянного магнитного поля изменяются в пределах 24—55 сек., а под действием УВЧ- и СВЧ-полей — в пределах 30—40 сек. Амплитуда биопотенциалов увеличивается под действием УВЧ- и СВЧ-полей до 500—700 *мкв* (эти данные взяты из приведенных выше работ советских авторов).

Наряду с этим выявлена существенная зависимость рассматриваемых величин от интенсивности ЭМП. Характер этой зависимости оказался различным для основной реакции и для реакции десинхронизации с увеличением числа высокочастотных колебаний. Показательны в этом отношении данные, полученные при облучении СВЧ-полями (дециметровыми и сантиметровыми)

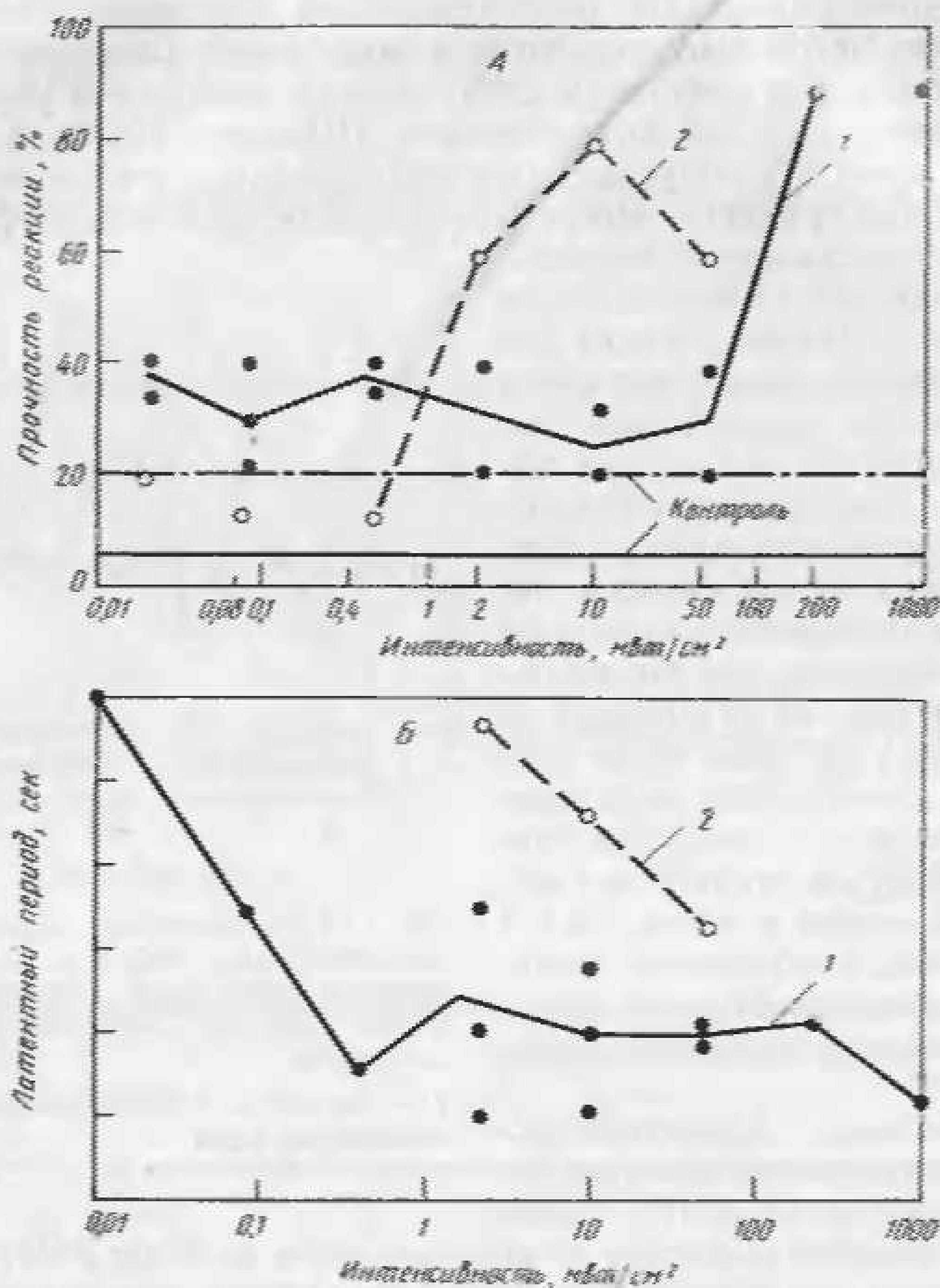


Рис. 44. Зависимость действия дециметровых и сантиметровых волн на ЭЭГ кролика от интенсивности облучения

А — изменение прочности реакции, Б — изменение латентного периода; 1 — увеличение медленных высокоамплитудных волн и веретен, 2 — уменьшение амплитуды биопотенциалов основного ритма и увеличение высокочастотных волн. Графики составлены по данным, полученным Зениной (1964), Гвоздиковой и др. (1964) и Холодовым (1966)

боковой поверхности тела кролика (Зенина, 1964; Гвоздикова и др., 1964; Холодов, 1966), графически представленные на рис. 44. Графики показывают, что при тепловых интенсивностях прочность основной реакции понижается с уменьшением интенсивности, но при более низких интенсивностях она мало зависит от интенсивности и даже имеет тенденцию к повышению по мере уменьшения последней. Реакция же десинхронизации и

увеличения высокочастотных колебаний возникает только при интенсивностях не ниже 2 *мвт/см²*. Латентные периоды обеих реакций повышаются по мере уменьшения интенсивности, но для основной реакции значения периодов ниже, а кривая их изменения более полога, чем для реакции второго типа.

Интересные данные по изменению электрической активности головного мозга под действием постоянного магнитного поля получены в опытах с ящерицей (Becker, 1963б). ЭЭГ непрерывно регистрировалась в процессе воздействия при постепенном повышении напряженности поля от 500 до 3800 *гс* и последующем понижении до первоначальной величины. При этом амплитуда медленных колебаний постепенно возрастала по мере повышения напряженности, а затем и при ее понижении.

В ряде экспериментов (Холодов, Зенина, 1964; Лукьянова, 1965; Холодов, 1966; Чиженкова, 1966) сопоставляли влияние ЭМП на электрическую активность различных отделов головного мозга и на изолированные мозговые структуры у кроликов, а также изменение этих реакций при разрушении отдельных мозговых структур и при повышении их возбудимости путем введения кофеина и адреналина. Были выявлены следующие общие закономерности:

1. Характер изменений ЭЭГ (регистрируемой с коры больших полушарий) под действием постоянного магнитного поля, УВЧ- и СВЧ-полей сохраняется при разрушении зрительного, слухового и обонятельного анализаторов, после повреждения гипоталамуса, таламуса и ретикулярной формации среднего мозга.

2. Реакции на эти же воздействия изолированного мозга (перерезка на уровне среднего мозга) и нейронально изолированной полоски коры имеют тот же характер, что и при неповрежденном мозге. Величина реакции этих изолированных препаратов выше, чем у интактного мозга,— больше прочность реакции, короче ее латентные периоды.

3. При введении животным кофеина или адреналина усиливается основная реакция и в ЭЭГ появляются судорожные разряды эпилептоидного типа. Еще более значительный эффект введения кофеина отмечается при регистрации ЭЭГ с изолированного мозга.

4. Во всех отделах головного мозга отмечается одинаковый характер основной реакции на ЭМП и ее одновременность. Имеются данные о том, что гипоталамус и кора больших полушарий обладают большей чувствительностью к постоянному магнитному полю, чем таламус и ретикулярная формация среднего мозга. Усиление же реакции на ЭМП при введении возбуждающих веществ соответствует чувствительности к ним мозговых структур: кофеин больше всего усиливает реакцию коры, а адреналин — реакцию гипоталамуса и ретикулярной формации.

Было также исследовано влияние ЭМП на чувствительность центральной нервной системы к другим раздражителям (Шмелев, 1964б; Холодов, 1966; Чиженкова, 1966). Обнаружено, что постоянное магнитное поле понижает чувствительность млекопитающих к световому раздражению, земноводных — к химическому (рефлекс Тюрка) и рыб к электрическому. Поля УВЧ и СВЧ, наоборот, повышают чувствительность кроликов к световому раздражению.

О влиянии СВЧ-полей на электрическую активность мозга человека свидетельствуют результаты обследований больших групп людей, подвергавшихся хроническому воздействию слабой интенсивности (Дрогичина и др., 1962; Гинзбург, Садчикова, 1964; Климкова-Дейчева, Рот, 1963; Sinisi, Michaelson, 1954; Sarel et al., 1961 и др.). Эти обследования показали, что у людей, длительно работающих с СВЧ-полями, число медленных высокоамплитудных волн в ЭЭГ несколько повышено по сравнению с нормой. Отмечено также понижение чувствительности обонятельного анализатора у людей, работающих с генераторами СВЧ-полей (Лобанова, Гордон, 1960) и с генераторами коротких и ультракоротких волн (Фукалова, 1964в).

Итак, можно считать экспериментально установленным влияние ЭМП на электрическую активность различных отделов головного мозга. Характер этого влияния однотипен при воздействии ЭМП самых различных частот — от постоянного магнитного поля до СВЧ-полей, но зависит от локализации воздействия и интенсивности ЭМП. При непосредственном воздействии ЭМП на мозговые структуры наблюдается довольно значительный латентный период, после которого в ЭЭГ увеличивается число медленных высокоамплитудных колебаний и веретен. Подобные изменения, наблюдаемые обычно во время сна и при наркозе, свидетельствуют, по-видимому, о тормозном влиянии ЭМП на структуры головного мозга. Характерно, что такие реакции на ЭМП возникают как при интенсивных, так и при слабых воздействиях и даже могут несколько усиливаться по мере уменьшения интенсивности ЭМП. Если же воздействию ЭМП подвергаются не только центральные, но и периферические нервные структуры, то возникающие изменения — преобладание в электроэнцефалограмме низкоамплитудных частых колебаний — подобны тем, которые характерны для реакций пробуждения и других реакций, связанных с раздражением центральной нервной системы. Характерно, что эти реакции на ЭМП возникают не только при достаточно больших интенсивностях, но и при слабых.

Рассмотренные экспериментальные данные указывают на значительную чувствительность к ЭМП коры головного мозга и структур промежуточного мозга, особенно гипоталамуса. Между тем известно (Дришель, 1960; Мэгун, 1961; Мак-Ильвейн, 1962; Брейди, 1963), что именно эти структуры осуществляют цент-

ральную регуляцию физиологических процессов, нарушение которой под действием ЭМП было описано выше. Гипоталамус осуществляет гуморальную регуляцию уровня сахара в крови и состава форменных элементов крови; он регулирует активность желез внутренней секреции — гипофиза, коры надпочечников и др. Обнаружено, что прямое электрическое раздражение гипоталамуса вызывает изменение содержания эозинофилов и лимфоцитов, секреции адренокортикотропного гормона гипофизом, содержания аскорбиновой кислоты в надпочечниках и т. д.

В связи с этим представляют интерес и косвенные данные о влиянии ЭМП на центральную нервную систему, полученные в исследованиях гуморальных изменений в организме животных, подвергаемых воздействию ЭМП.

7.5. Действие ЭМП на гуморальную регуляцию

В ряде исследований обнаружены различные проявления действия ЭМП на функции кроветворения, на форменный (клеточный), белковый и минеральный состав крови.

Изменение процентного состава форменных элементов крови исследовали в самых разнообразных условиях — при больших и малых интенсивностях ЭМП, при однократном и хроническом воздействии.

В описанных выше исследованиях с собаками (Howland et al., 1961; Michaelson et al., 1961a, 1964) однократное 6—8-часовое воздействие СВЧ-полями большой интенсивности (2800 *Мгц*, 100 *мвт/см*^{2} и 200 *Мгц*, 165 *мвт/см*^{2}) вызывало повышение общего количества лейкоцитов на 25—55% через 24 часа после облучения, но число лимфоцитов и эозинофилов сразу после облучения понижалось, а через 24 часа было выше нормы. Таким же образом изменялся и процент гемоглобина. В других опытах с собаками (Тягин, 1957) подобного рода облучение (100—300 *мвт/см*^{2}) в течение 25 мин. приводило к двухфазному изменению количества лейкоцитов — понижению сразу после облучения и повышению через 2—4 часа.

Облучение крыс более короткими волнами (10 000 *Мгц*) с интенсивностью 400 *мвт/см*^{2} в течение 5 мин. вызывало снижение содержания лейкоцитов и эритроцитов, сохранявшееся в течение 5 дней после прекращения воздействия (Городецкая, 1960, 1964а). Воздействие на крыс еще более короткими волнами (24 000 *Мгц*) при интенсивности 20 *мвт/см*^{2} в продолжение 7,5 часа вызывало сразу после прекращения облучения повышение содержания эритроцитов и гемоглобина, но понижение содержания лейкоцитов, а через 16 час. наблюдалось медленное повышение всех показателей крови и возвращение их к норме через 14 дней (Deichman et al., 1959, 1964). Хроническое облуче-

ние крыс в диапазоне 3000 *Мгц* при интенсивности 40—100 *мвт/см²* (Кицовская, 1964б) приводило к снижению количества лейкоцитов, но не изменяло процента гемоглобина.

Постоянное магнитное поле также оказывало влияние на кровь животных при хроническом воздействии (M. Barnothy, J. Barnothy, 1960): у крыс, находившихся в поле с напряженностью 4200 э, содержание лейкоцитов понижалось в течение первых 10 дней воздействия (на 30—40%) и повышалось на 100% по сравнению с контролем в последующие 2—3 недели.

В описанных эффектах есть много общего: во-первых, двухфазный характер изменений, во-вторых, однотипность изменений при воздействии ЭМП различных частот, в-третьих, довольно быстрая обратимость изменений — нормализация показателей крови за период от нескольких часов до нескольких дней. Вместе с тем отмечена значительная вариабельность и характера и выраженности изменений в зависимости от вида и даже породы животных. Так, например, в описанных выше исследованиях Дейхмана при одинаковых условиях воздействия у крыс линии Осборна — Менделя процент гемоглобина повышался, а у крыс линии Фишера — понижался.

Изменение показателей крови отмечали и у людей, длительное время подвергавшихся (от года до нескольких лет) слабому воздействию ЭМП различных частот. У значительного числа обследованных были обнаружены однотипные изменения — понижение количества форменных элементов и процента гемоглобина при воздействии ЭМП средневолнового, коротковолнового, ультракоротковолнового, дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов (Соколов, Чулина, 1964). Изменения белкового состава крови характерны также для людей, подвергающихся хроническому воздействию ЭМП радиочастот при малых интенсивностях (Гельфон, Садчикова, 1964). У 50% обследованных общее содержание белка было повышено — главным образом за счет увеличения количества глобулинов, что свидетельствует о сдвиге альбумино-глобулинового коэффициента.

Другим характерным изменением было повышение содержания гистамина в крови. Подобные изменения отмечались у людей, подвергавшихся воздействию ЭМП различных частот — от средневолнового до сантиметрового диапазона. Однако более коротковолновые воздействия были эффективнее. Изменения содержания гистамина под действием СВЧ-полей обнаружены и в экспериментах с животными (Гельфон, 1964). У кроликов, облучавшихся 10-сантиметровыми волнами с интенсивностью 10 *мвт/см²* по 1 часу в день, содержание гистамина в первые 5 месяцев колебалось, периодически возрастая и понижаясь, но все время оставалось выше нормы.

Таким образом, изменениям белкового состава и содержания гистамина в крови под действием ЭМП свойственны указанные

выше общие черты — однотипность при воздействии ЭМП разных частот, фазность и быстрая обратимость.

Влияние СВЧ-полей на минеральный состав крови исследовалось в хронических опытах с крысами (Кулакова, 1964). У животных, облучавшихся дециметровыми волнами с интенсивностью 40 *мвт/см²* по 1 часу в день, после 6 сеансов отмечалось повышение содержания ионов Са в плазме крови, а после 17 сеансов — значительно большее повышение их содержания в моче.

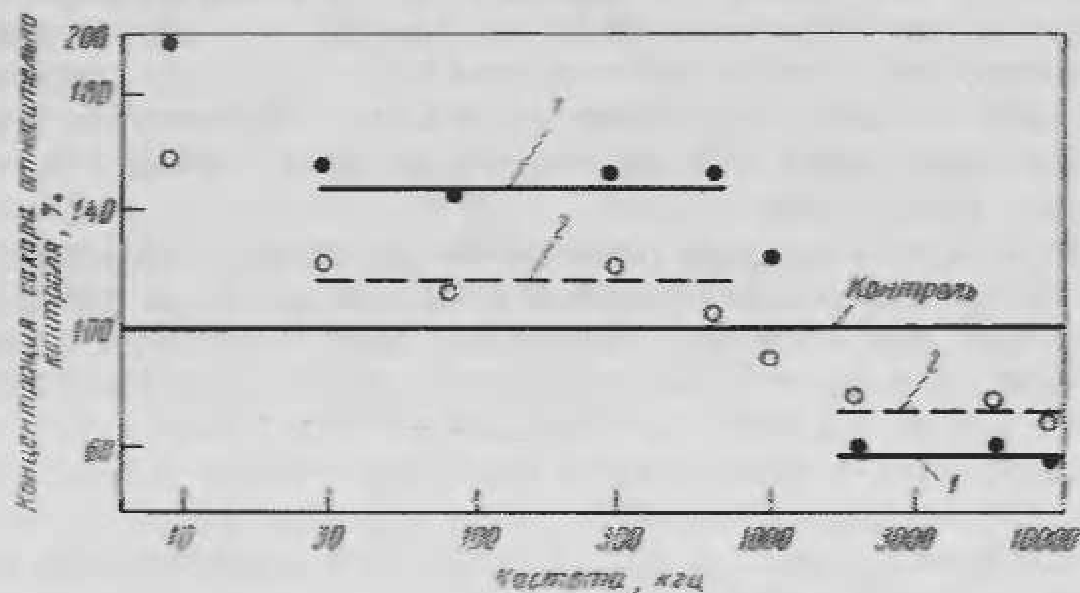


Рис. 45. Изменение концентрации сахара в крови у кролика под действием ЭМП в частотном диапазоне от 9,5 *кгц* до 9,5 *Мгц* при напряженности 15 *в/см* и продолжительности воздействия 20 *мин*

1 — воздействие на голову, *2* — на область печени

В то же время содержание ионов Na и K не менялось. Изменение содержания Са сказывалось на специализированных формах аппетита животных, облучавшихся сантиметровыми и дециметровыми волнами в указанном режиме. Из предлагаемых растворов NaCl, KCl и $CaCl_2$ (в 20%-ном растворе глюкозы) животные в значительно большем количестве потребляли кальциевый раствор. Такое поведение наблюдалось у обычных крыс и крыс линии «Вистар» уже после 5—7 сеансов облучения 10-сантиметровыми волнами с интенсивностями 10 и 40 *мвт/см²*. При облучении дециметровыми волнами с интенсивностью 40 *мвт/см²* повышенный аппетит к кальциевому раствору был отмечен у крыс линии «Вистар» только после 26 сеансов, а при интенсивности 10 *мвт/см²* эффекта не наблюдалось.

Влияние ЭМП на обмен веществ в тканях и органах животных отмечено в разных частотных диапазонах — от низких до сверхвысоких.

В широком диапазоне частот — от 9,5 до 9500 *кгц* — исследовалось влияние ЭМП на углеводный обмен в организме кроли-

ков, оцениваемый по концентрации сахара в крови (Будко, 1964а). Воздействию (в поле конденсатора) при напряженности 15 *в/см* в течение 20 мин. подвергалась либо голова животного, либо область печени. На рис. 45, на котором приведены значения концентрации сахара в крови через 20 мин. после воздействия, можно видеть, что: 1) воздействие на голову вызывает более значительные изменения, чем воздействие на область печени, 2) при частотах от десятков до сотен *кгц* уровень сахара повышается, тогда как при более высоких частотах он понижается, и 3) в пределах этих частотных диапазонов величина эффекта практически не зависит от частоты. При всех частотах через 20—30 мин. после воздействия начиналось постепенное возвращение уровня сахара к нормальному (100%), которое достигалось через 60—90 мин.

Однако при непосредственном воздействии ЭМП на ткани печени (при вскрытой брюшной полости) не было различия в направлении эффекта для указанных двух частотных диапазонов: и при 9,5 и при 9500 *кгц* происходило одинаковое и весьма значительное (в 4,5 раза) повышение уровня сахара. Последующие воздействия (через каждый час) при частоте 9,5 *кгц* вызывали все большее повышение уровня сахара (до 5,5 раза при четвертом воздействии), а при частоте 9500 *кгц* — эффект постепенно ослаблялся (после четвертого воздействия уровень сахара был повышен всего в 2 раза).

Представляется вероятным, что описанное различие в направленности эффекта низкочастотных и высокочастотных ЭМП связано с различием в глубине проникновения полей в клетки тканей печени и головного мозга (см. § 3.2).

Многократное воздействие 10-сантиметровых волн больших интенсивностей на кроликов по 5—15 мин. в день нарушало регуляцию углеводного обмена в скелетных мышцах в сторону понижения синтеза гликогена. Авторы (Dainatto et al., 1962) связывают этот эффект с наблюдавшимися изменениями ферментативных процессов (в частности, процессов, катализируемых аденозинфосфатазой и аденозиндифосфатазой). В экспериментах с крысами (Кирчев и др., 1962) подобные изменения наблюдались при значительном повышении активности фосфорилазы (на 68%).

Влияние СВЧ-полей на окислительно-восстановительные процессы в органах кроликов (печени, почках, сердечной мышце, скелетных мышцах и мозге) наблюдалось и при больших и при малых интенсивностях (Москалюк, 1957). Облучение животных с интенсивностью 100—300 *мвт/см*^{2} приводило к резкому понижению окислительно-восстановительных процессов, а облучение с интенсивностью 5—10 *мвт/см*^{2}, наоборот, к повышению. Многократные воздействия вызывали те же изменения, но менее выраженные.

Нарушение углеводного обмена при хроническом воздействии СВЧ-полей малой интенсивности отмечалось и у людей (Bartoníček, Klimková, 1964). Уровень сахара в крови и моче повышался у 75% обследованных, а сахарные кривые имели преддиабетическую форму.

Влияние СВЧ-полей на активность ферментов было обнаружено и в специально поставленных опытах. Так, облучение морских свинок со сравнительно высокой интенсивностью в течение 5—20 мин. приводило к существенному понижению активности амилазы и липазы, а также к двухфазному изменению — сначала повышению, а затем понижению — содержания глутатиона, одного из активаторов ряда ферментов (Sacchitelli, 1956, 1958).

Влияние ЭМП низкочастотного и УВЧ-диапазонов на ферментативную активность изучали (Чирков, 1964, 1965) в опытах с кроликами. Воздействию подвергали область головы животного. В первой серии экспериментов применялось однократное воздействие в течение 20 мин. на частотах 8 *кгц*, 9,5 и 27 *Мгц* при напряженностях поля от 1 до 20 *в/см*. Понижение активности каталазы и пероксидазы крови (пробы которой брались с интервалом в 5 мин., на протяжении 4 час.) отмечено только при воздействии с частотами 9,5 и 27 *Мгц*: при напряженности 7—10 *в/см* снижение для каталазы составляло соответственно 8,6 и 9,7% по сравнению с контролем ($P < 0{,}01$). Во второй серии применялось многократное воздействие с теми же частотами при напряженности 20 *в/см* по 20 мин. в день (всего 10 воздействий с 2-дневными интервалами). Отмечено двухфазное изменение ферментативной активности — снижение после первого воздействия и повышение при последующих. При частоте 8 *кгц* эти изменения были равны соответственно —11 и +19%. При частоте 9,5 *Мгц* активность каталазы изменялась на —11,5 и +12,6% (после 8-го сеанса), а пероксидазы — на —12,7 и +25,7%. Восстановление нормальной активности происходило через 2—12 суток после прекращения воздействий.

Известно, что и состав крови, и углеводный обмен регулируются в организме гормональной активностью коры надпочечников. В связи с этим представляют интерес исследования влияния ЭМП на функции этой железы. В опытах с 10-сантиметровыми волнами (Лейтес, Скурихина, 1961) крысы облучались в течение 10 мин. при интенсивности около 100 *мвт/см²*. Затем животных забивали в разные сроки после облучения (от 1 часа до 14 суток) для определения содержания аскорбиновой кислоты и липоидов в коре надпочечников (что служит показателем гормональной активности). Было установлено, что на протяжении первых суток после облучения содержание этих веществ понижается до 70% от нормального, в следующие сутки повышается до нормального уровня и затем превышает этот уровень на 6—7%. К двухнедельному сроку нормальный уровень восстанавли-

вается. Подобные изменения наблюдались у крыс и при воздействии 3-сантиметровыми волнами с интенсивностью 400 *мвт/см²* и продолжительностью облучения 5 мин. (Городецкая, 1961). Следует здесь упомянуть о некотором повышении функциональной активности щитовидной железы у людей, подвергавшихся хроническому воздействию СВЧ-полей малой интенсивности (Смирнова, Садчикова, 1960).

Влияние на иммунные свойства организма животных обнаружено пока в опытах с постоянным магнитным полем и ЭМП низкой частоты.

У мышей под действием постоянного поля с напряженностью 4000 *э* уменьшалось количество белка антител, вырабатываемых при инъекции животным овечьих эритроцитов (Gross, 1962, 1963). Дальнейшие исследования этого эффекта при напряженности 7000 *э* (Штернберг, 1966) показали, что он наиболее выражен при воздействии полем одновременно с иммунизацией или через сутки после нее.

Эффект угнетения формирования иммунитета и выработки антител к вирусу клещевого энцефалита наблюдали у мышей, крыс и кроликов как под действием постоянного магнитного поля (7000 *э*), так и под действием ЭМП с частотой 50 *гц* и напряженностью 200 *э* (Васильев, 1965). Однако подобный эффект не возникал при выработке антител к корпускулярному антигену (гетерогенные эритроциты), а в ряде случаев отмечалась даже стимуляция. Хроническое воздействие полем с напряженностью 2000 *э* на белых мышей (на протяжении 14 дней) незначительно угнетало образование антител к брюшнотифозным антигенам.

В другой серии исследований (Одинцов, 1965) определялись иммунобиологические показатели при инъекции микробов (листерий) мышам и морским свинкам, подвергавшимся воздействию ЭМП 50 *гц* с напряженностью 200 *э* однократно (в течение 6,5 часа) и хронически (в течение 15 дней). Однократное воздействие не оказывало влияния на смертельную дозу микробов, их распространяемость в организме, количество лейкоцитов и их фагоцитарную активность, однако многократное воздействие снижало естественную сопротивляемость организма животных к листериям; снижалась фагоцитарная активность лейкоцитов и их общее количество.

Была проведена серия экспериментов (Лацман, 1965) для выяснения влияния ЭМП низкой частоты (50 *гц*) на фагоцитарную активность ретикуло-эндотелиальной системы, играющей важную роль в защитных функциях организмов. Мыши подвергались воздействию при напряженности 200 *э* либо однократно (7 час.), либо хронически (4 дня по 8 час.).

Однократное воздействие приводило к стимуляции фагоцитарной активности, а многократное — к ее угнетению.

Таким образом, для проявлений действия ЭМП на гуморальную регуляцию характерны те же общие черты, что и для всех биологических эффектов ЭМП — кумулятивность действия, малая зависимость характера эффекта от частоты ЭМП, двухфазный характер наблюдаемых изменений в зависимости от интенсивности ЭМП. Можно полагать, что большинство из рассмотренных нарушений гуморальной регуляции связано с воздействием ЭМП на центральную систему либо рефлекторно, либо непосредственно. Вместе с тем некоторые эффекты свидетельствуют и о прямом действии ЭМП на функции клеток органов, участвующих в гуморальной регуляции, а также на сами биохимические процессы, осуществляющие такую регуляцию. Как мы покажем далее, такого рода эффекты непосредственно обнаруживаются в опытах in vitro.

Заключая главу, можно отметить, что почти во всех описанных проявлениях действия ЭМП на нейро-гуморальную регуляцию в целостных организмах отчетливо выступают следующие общие закономерности:

1. Изменения в организме, возникающие под действием ЭМП, неспецифичны: они представляют собой такие же нарушения нейро-гуморальной регуляции, какие происходят и под действием самых различных других факторов.

2. Эти изменения связаны главным образом с влиянием ЭМП на различные отделы нервной системы, причем непосредственное воздействие ЭМП на центральные отделы чаще приводит к тормозным реакциям, а на периферические — к реакциям возбуждения. В соответствии с этим изменяются и физиологические процессы, регулируемые нервной системой.

3. При воздействии ЭМП на тот или иной отдел нервной системы (что определяется локализацией воздействия и глубиной проникновения ЭМП данного частотного диапазона) характер возникающих в организме изменений практически не зависит от частоты ЭМП.

4. И характер, и выраженность изменений при воздействии ЭМП на периферические отделы нервной системы почти не зависят от интенсивности ЭМП. При воздействии же на центральные отделы отмечается существенная зависимость от интенсивности: характерно, что центральная нервная система сильнее реагирует при низких интенсивностях, чем при высоких, а в некоторых случаях реакция наблюдается только при определенных малых интенсивностях и вообще отсутствует при более высоких.

5. Если ЭМП воздействуют и на центральные, и на периферические отделы нервной системы, то при некоторых «оптимальных» интенсивностях (чаще всего их две) наблюдается максимальная реакция организма, тогда как при других интенсивностях она вообще может отсутствовать. Подобным же образом зависит сила реакции и от продолжительности воздействия.

6. При таких же условиях воздействия отмечается и двухфазная зависимость реакций от интенсивности и продолжительности действия ЭМП: при малых интенсивностях (или небольших продолжительностях воздействия) изменения в организме противоположны тем, которые возникают при высоких интенсивностях (длительных воздействиях).

7. Многократные воздействия кумулируются в организме. При этом сильные воздействия чаще приводят к адаптации относительно последующих воздействий, а слабые, наоборот, ко все более выраженным изменениям в организме, часто имеющим двухфазный характер в зависимости от числа воздействий.

Глава 8

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ПРОЦЕССЫ РАЗМНОЖЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗМОВ

В предыдущих главах мы рассматривали различные проявления действия ЭМП на нормальный, сложившийся организм, с полностью развитыми механизмами приспособления ко внешней среде и к защите от неадекватных воздействий. Естественно, можно ожидать, что влияние ЭМП на процессы формирования организма — в зародышевой клетке, в развивающемся эмбрионе, в растущем организме — окажется еще более существенным. Такого рода эффекты и рассматриваются в этой главе.

8.1. Генетические эффекты ЭМП

Влияние ЭМП на генетический аппарат впервые было обнаружено в опытах с растущим корнем чеснока (Heller, Teixeria-Pinto, 1959). Воздействие на объект импульсными полями УВЧ производили при следующих условиях: диапазон частот — от 5 до 40 *Мгц*, длительность импульсов — от 15 до 50 *мксек*, частота повторения импульсов — от 500 до 1000 *имп/сек*, напряженность поля (в импульсе) — от 250 до 6000 *в/м* и длительность воздействия — 5 мин. Такого рода воздействия приводили к хромосомным аберрациям в клетках корня чеснока — образованию мостиков и фрагментов, образованию микронуклеусов. Микрофотографии, иллюстрирующие эти эффекты, приведены на рис. 46.

В опытах с мушками дрозофилами (Mickey, 1963) такие же воздействия вызывали эффекты двух типов: патологические соматические изменения, не передававшиеся по наследству, и изменения, возникающие в зародышевых клетках и наследуемые в потомстве. Примером эффектов первого типа является образова-

ние красных или коричневых пятен на одном глазу или на обоих; эффекты второго типа, наблюдавшиеся при спаривании облученных взрослых самцов с девственными самками, были весьма разнообразными: различные сцепленные с полом рецессивные летальные мутации возникали почти в 13 раз чаще, чем в контрольных опытах; значительно чаще возникали и сцепленные с полом



Рис. 46. Изменения в хромосомном аппарате делящихся клеток корня чеснока под действием импульсных УВЧ-полей

а — мостики между дочерними группами хромосом, б — мостики и фрагменты, в — микронуклеусы, образовавшиеся из фрагментов

видимые мутации — такие, как роговидная деформация глаз, пузырчатость крыльев, уменьшение размеров щетинок, желтый цвет тела и доминантные изменения в хромосомном аппарате. Все эти мутации (за исключением желтого цвета тела) возникали неоднократно, что указывает на особую чувствительность к ЭМП некоторых локусов гена. Пузырчатость крыльев проявлялась и как доминантная, и как рецессивная мутация. Значительно чаще, чем в контроле, была частота доминантных мутаций (связанных с общей аберрацией хромосом или с утратой небольших их участков и дупликацией), а именно: изменение размера щетинок, плодовитости, способности к размножению и др. Наблюдались и мозаики (появление особей с измененными признаками только некоторых частей тела), что связано с мутациями только в клетках некоторых типов.

В серии дальнейших исследований, проведенных теми же авторами (в Институте медицинских исследований, Новая Англия, США), было установлено, что у бактерий, спор низших грибов и высших растений, насекомых и других животных можно путем воздействия импульсными ЭМП определенных параметров вызывать мутагенные эффекты, подобные эффектам, возникающим при ионизирующих облучениях (Heller, 1963):

1. Под воздействием ЭМП с частотой 30 *Мгц* в клетках злокачественных опухолей происходят хромосомные аберрации,

приводящие к прекращению митоза, старению и гибели клеток. При других частотах может возникнуть полный спектр хромосомных аберраций.

2. У бактерий, лишенных способности образовывать гистидин, под действием ЭМП с частотой 31 *Мгц* появляются мутанты противоположного типа; бактерии, сбраживающие лактозу, под действием полей с частотой 18 *Мгц* теряют эту способность, что сохраняется и в последующих поколениях, однако воздействие с частотой 22 *Мгц* на отдаленные поколения восстанавливает ферментативную активность этого типа, причем и это свойство наследуется.

3. Путем воздействия ЭМП на два вида спор аскомицета *Penicillium*, один из которых является мутантом (*Penicillium chrysogenium*), можно осуществить их разделение за счет определенной ориентации спор; такой эффект вызывают ЭМП с частотами 11 и 2 *Мгц* при различных пороговых напряжениях.

4. При облучении спермы или яйцеклеток половозрелых дрозофил in vivo ЭМП с частотой около 25 *Мгц* в первом поколении производится в 8 раз больше самок, чем самцов; при 30 *Мгц* отмечаются изменения во втором поколении — в 2 раза больше самцов, чем самок; при 28 *Мгц* два доминантных гена, определяющих цвет глаз спариваемых животных, продуцируют необычный рецессив.

Каждый из описанных мутационных эффектов происходит при определенных сочетаниях параметров воздействующих ЭМП; эти параметры варьируют в следующих пределах: частота — от 1 до 250 *Мгц*, длительность импульса — от 1 до 10 *мксек*, частота повторения импульсов от 30 до 10 000 *имп/сек* и напряженность поля (в импульсе) — от сотен до десятков тысяч *в/м*. Импульсные параметры ЭМП выбираются так, чтобы не происходило сильного нагревания объекта, а частота и напряженность ЭМП — в соответствии с желаемым эффектом. Воздействие осуществляется дистанционно, без непосредственного контакта с объектом.

Генетические эффекты наблюдались и под действием постоянного магнитного поля. Большинство исследований проводили с мушками дрозофилами.

Воздействие поля с напряженностью 3000—4400 *э* (Mulay, 1964) приводило у дрозофил к значительно более частому, чем в контроле, числу случаев появления роговидной деформации глаза в первом поколении (85% против $2 \cdot 10^{-4}$ в контроле), однако этот признак не передавался по наследству. Наследуемые изменения под действием магнитного поля наблюдали при напряженностях 750—1100 *э* (Ахмеров и др., 1966), что проявлялось в увеличении в первом и втором поколениях выхода куколок и мушек — на 36% по сравнению с контролем. В других опытах (Шахбазов и др., 1966) исследовали плодовитость и жизнеспособность потомков дрозофил после скрещивания особей, подверг-

нутых воздействию магнитного поля, с контрольными. При напряженности 1900 э воздействие на инбредных животных повышало плодовитость и жизнеспособность во втором поколении на 15% по сравнению с наблюдаемыми при скрещивании пар, не подвергавшихся воздействию. При воздействии полем той же напряженности на обоих спариваемых родителей подобные изменения наблюдались в первом поколении (8—10% по сравнению с контролем). Однако у межлинейных гибридных животных отмечен противоположный эффект — снижение плодовитости. При напряженности 7000 э наблюдались такие же изменения в первом и втором поколениях.

Исследования с магнитными полями значительно большей напряженности — 140 000 э (Beischer, 1964) — не выявили, однако, генетических эффектов у дрозофил: воздействие на куколок в течение 6 дней, на молодых мушек в течение 8 дней и на взрослых особей в течение 20 дней не приводило к каким-либо заметным изменениям. Вместе с тем у сумчатых грибов (аскомицетов) в поле столь же высокой напряженности частота мутаций значительно возрастала по сравнению с контролем (Knepion, Beischer, 1964).

Обнаружено мутагенное действие магнитного поля и в опытах с высшими растениями (Позолотин, 1965; Позолотин, Гатиятулина, 1966). В семенах гороха, предварительно подвергнутых гамма-облучению в дозе 10 000 *р*, последующее воздействие импульсного магнитного поля с напряженностью 200 000 э приводило к статистически значимому увеличению числа клеток с хромосомными аберрациями (фрагментами); в опытах с проростками гороха подобное воздействие также увеличивало число хромосомных аберраций.

Экспериментальное обнаружение генетических эффектов ЭМП само по себе неожиданно. Ведь до сего времени мутагенное действие электромагнитных излучений наблюдали (и считали теоретически возможным) только для той области электромагнитного спектра, где кванты энергии велики ($h\nu \gg kT$), т. е. для гамма-рентгеновых и ультрафиолетовых лучей; отмечали также стимулирующее влияние повышения температуры (в частности, инфракрасным облучением) на количество возникающих мутаций. Поэтому генетические эффекты ЭМП высоких интенсивностей можно было бы объяснить за счет вызываемого ими нагревания клеток. Но как объяснить генетические эффекты слабых ЭМП и постоянного магнитного поля? Для ответа на этот вопрос нет пока достаточных экспериментальных оснований.

8.2. Действие ЭМП на процессы размножения

В главе 6 были уже описаны различные необратимые морфологические изменения в семенниках (чаще дегенеративного характера), возникающие под действием ЭМП высоких и малых

интенсивностей, а также постоянного магнитного поля. Здесь мы рассмотрим экспериментальные данные о функциональных изменениях в органах размножения под действием ЭМП, о влиянии ЭМП на половые циклы у животных и на их плодовитость.

В экспериментах с крысами (Gunn et al., 1961а, 1961б) обнаружено влияние СВЧ-полей (24 000 *Мгц*) на функции половых желез при отсутствии каких-либо заметных морфологических изменений в семенниках. Исходя из ранее установленного явления — преимущественного накопления в предстательной железе Zn^{65}, вводимого самцам, были предприняты сравнительные исследования содержания этого изотопа в железе животных, подвергнутых облучению СВЧ-полями, инфракрасными лучами и не подвергавшихся воздействию. На рис. 47 приведена диаграмма, иллюстрирующая значительное понижение содержания Zn^{65} после 5-минутного облучения СВЧ-полем и отсутствие такого эффекта при облучении инфракрасными лучами, вызывающими нагревание до той же температуры (41°). Авторы делают вывод, что само по себе повышение температуры не влияет на функции половой системы и наблюдавшийся эффект следует рассматривать как нетепловой.

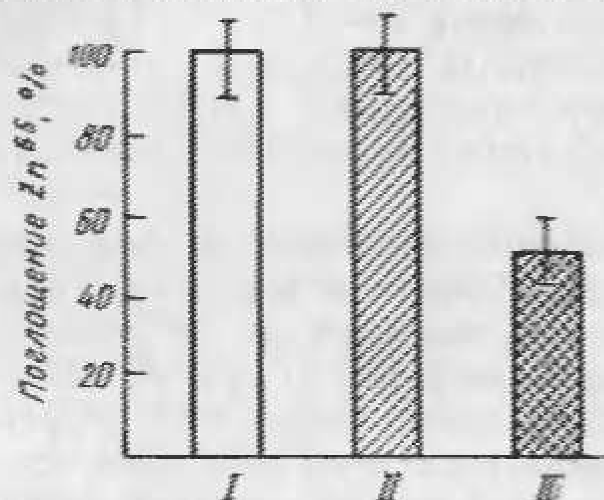


Рис. 47. Сравнение влияния СВЧ и инфракрасного облучения на поглощение Zn^{65} в предстательной железе крысы

I — без воздействия, *II* — инфракрасное облучение, *III* — СВЧ-облучение

В другой серии опытов (Ciecura, Minecki, 1964) при облучении семенников крыс СВЧ-полями диапазона 3000 *Мгц* отмечено понижение активности ряда ферментов. В результате однократного облучения с интенсивностями 64 и 94 *мвт/см²* или многократного воздействия с интенсивностью 64 *мвт/см²* по 2 мин. ежедневно на протяжении 6 недель в зародышевых эпителиальных клетках (образующих сперматозоиды) понижалась активность ряда ферментов: щелочной фосфатазы, кислой фосфатазы, аденозинтрифосфатазы и 5-нуклеотидазы. Наряду с этим в межуточных — интерстициальных клетках (вырабатывающих половой гормон — тестостерон) активность этих ферментов оставалась неизменной.

Влияние СВЧ-полей на эстральные циклы у мышей-самок, на течение беременности и на развитие потомства наблюдали в ряде исследований.

В одной серии опытов (Повжитков и др., 1961) мыши подвергались до спаривания многократному воздействию импульсными

СВЧ-полями с интенсивностью 0,3 *мвт/см²* по 30 мин. в день на протяжении 20 и 50 дней; в другой серии облучению подвергались беременные самки на протяжении 12 дней после спаривания, по 10 мин. в день с интенсивностью 50 *мвт/см²*. В результате этих воздействий отмечено: перенашивание плода на 1—2 дня против нормального, более позднее развитие мышат и даже гибель части потомства на третьей неделе после рождения.

В экспериментах с импульсными СВЧ-полями диапазона 10 000 *Мгц* (Городецкая, 1963, 1964б) воздействию продолжительностью 5 мин. при интенсивности 400 *мвт/см²* подвергали мышей самцов и самок. После спаривания необлученных самок с самцами (сразу же после их облучения) в 2,5 раза снижался процент самок, давших потомство, и в 1,5 раза понижалось число потомков на помет по сравнению с контролем. Спаривание на 5-й день после облучения давало значительно меньший эффект, а через 10 дней после облучения уже не наблюдалось различий с контрольными животными. Примерно такая же закономерность отмечалась и в увеличении числа мертворожденных мышат, зачатых от облученных самцов. Значительно более выражены подобные эффекты были при облучении самок: снижение их плодовитости, числа потомков в помете и увеличение числа мертворожденных наблюдалось при спаривании (с необлученными самцами) и сразу после облучения, и на 5-й день, и на 10-й день после облучения. После облучения самок обнаружено и увеличение у них средней продолжительности эстрального цикла (чаще его стадии покоя — диэструса) примерно на 18%.

Исследования действия магнитного поля на мышей (M. Barnothy, 1963а) показали, что беременные самки, помещенные в поле с напряженностью 2500 *э*, производили здоровое потомство, но вес мышат был на 20% меньше, чем в предыдущих пометах этих самок. Воздействие с напряженностью 3100 *э* вызывало уже значительные нарушения: новорожденные гибли через несколько дней. А при воздействии полем 4200 *э* эмбрионы рассасывались в матке.

На плодовитость насекомых влияет как электростатическое, так и магнитостатическое поле. Интересные результаты получены в опытах с бабочками-пяденицами при длительном воздействии электрического поля, а также поля, периодически включаемого и выключаемого каждые 5 мин. (Edwards, 1961). Куколок пядениц помещали в деревянный ящик между пластинами конденсатора (при заземленной отрицательной пластине) в поле с напряженностью 180 *в/см*; в контрольном ящике обе пластины были заземлены. После недельного пребывания куколок в постоянном поле вылет бабочек значительно отставал по сравнению с контрольным; в прерывистом же поле вылет только незначительно отставал от контроля (менее одного дня). Значительная разница была обнаружена в количестве яиц, откладываемых самками в

поле и без поля: во-первых, при наличии поля общее число откладываемых яиц было меньше, чем в контроле, во-вторых, значительно больше яиц (в расчете на самку) откладывалось на внешней поверхности пластины конденсатора (заряженной положительно), чем на ее внутренней поверхности, где поле интенсивнее. Таким образом, электрическое поле отрицательно сказывается и на развитии куколки в бабочку, и на кладке яиц бабочками — они как бы избегают поля.

Противоположное действие на размножение насекомых оказывает магнитное поле (Коган и др., 1965). Если мушки дрозофилы помещены между полюсами магнита в поле с напряженностью 700—800 *э*, то они сосредоточиваются около полюсов и здесь откладывают больше яиц, чем в пространстве между полюсами.

Таким образом, СВЧ-поля, а также магнитное и электрическое поля оказывают угнетающее действие на процессы размножения, нарушая их нормальный ход. Подобные эффекты наблюдались и в опытах с бактериями, о чем будет рассказано в следующей главе.

8.3. Влияние ЭМП на процессы эмбрионального развития у позвоночных

В ряде исследований обнаружено влияние СВЧ-полей на развитие куриного эмбриона. Первые экспериментальные данные о таком влиянии были получены еще в 1940 г. (Van Everdingen). Облучение СВЧ-полем с частотой 1875 *Мгц* яйца с 5-дневным эмбрионом в 1,5 раза понижало обмен веществ и приводило к гибели эмбриона. Воздействие в более поздние сроки развития эмбриона уже меньше влияло на обмен и не оказывало летального действия, а 11-дневный эмбрион вообще не реагировал на облучение. Обнаружено также влияние СВЧ-поля на ритм сердца эмбриона, начиная с того периода, когда в сердце появляется гликоген (связанный с углеводным обменом): ритм сердца снижается с 90—110 сокращений до 10—20, а амплитуда зубцов электрокардиограммы (ЭКГ) становится выше нормальной.

Влияние СВЧ-полей на сердечную деятельность эмбриона более детально исследовалось в недавно проведенных экспериментах (Paff et al., 1962, 1963).

Опыты проводились на 106 препаратах сердца эмбриона после 72-часовой инкубации. ЭКГ непрерывно регистрировалась в течение 3 мин до облучения, во время облучения и 3 мин. после него. Облучение производилось СВЧ-полем диапазона 24 000 *Мгц* с интенсивностями 478, 297, 167 и 74 *мвт/см*^{2} продолжительностью от нескольких секунд до 3 мин. Во время облучения препарат обдувался охлажденным воздухом для предотвращения перегревания. Облучение с интенсивностью 167 *мвт/см*^{2}, повышав-

шее температуру препарата до 38°, вызывало заметные нарушения в ЭКГ: укорочение интервала QT, увеличение амплитуды и ширины зубца T, увеличение зубца U. При интенсивности 74 *мвт/см²* температура повышалась только до 25°, но изменения в электрокардиограмме были такими же.

В ряде экспериментов наблюдали резкое нарушение развития эмбриона под действием СВЧ-полей (Carpenter, 1960; Van Ummersen, 1961). Инкубированные в течение 48 час. яйца подвергались воздействию СВЧ-поля с частотой 2450 *Мгц*, при интенсивности, обеспечивающей нагревание до той же температуры, что и при инкубации (39°). Это приводило к угнетению нормального развития эмбриона: в структурах, уже дифференцированных, происходила только пролиферация (размножение клеток) без дальнейшей дифференцировки, а в структурах, еще не дифференцированных, прекращалась и пролиферация — развитие зародыша останавливалось.

Обнаружено влияние слабого магнитного поля (4—7 *э*) на развитие эмбриона голубя (Кирюшкин и др., 1966). Обычно у этой птицы яйцо, снесенное первым, весит меньше второго, теряет в весе за период инкубации больше и проклевывается раньше. После воздействия магнитным полем наблюдалась обратная картина: потери веса в период насиживания у второго яйца были больше, чем у первого, а проклевывание происходило раньше, чем в первом. Наблюдалось (Торопцев и др., 1966б) угнетающее влияние магнитного поля 7000 *э* и на эмбриональное развитие лягушек.

Таким образом, магнитное поле и СВЧ-поля нарушают нормальное развитие эмбриона — понижают эффективность обменных процессов, тормозят размножение и дифференцировку клеток.

8.4. Влияние ЭМП на рост и развитие организмов

Исследования влияния магнитного поля на развитие мышей, начатые еще в 1948 г. в Будапештском институте экспериментальной физики, получили дальнейшее развитие в работах Барноти (J. Barnothy, 1963; M. Barnothy, 1964; J. Barnothy, M. Barnothy, 1963).

В одной серии исследований мышат 5-дневного возраста на 4 недели помещали в вертикально направленное магнитное поле с напряженностью 5900 *э* (с градиентом 100 *э/см*) и наблюдали за прибавкой в весе в течение этого периода и последующих 4 недель. Результаты иллюстрирует рис. 48. Как видно из кривой, вес животных, подвергнутых воздействию магнитного поля, отставал от веса контрольных на протяжении всего опыта и только к концу его достигал нормы. На 2-й день отмечалось резкое падение веса, что, по мнению авторов, было обусловлено «шоковым состоянием», вызванным действием поля. У самцов отмеча-

лись случаи резкой потери в весе и на 11-день, что иногда приводило к их гибели. У самок неблагоприятных признаков не наблюдалось; спаривание (с нормальными самцами) после пребывания в поле приводило к нормальному течению беременности и завершалось рождением нормального потомства.

Во второй серии исследований наблюдали развитие молодых (30-дневных) и взрослых (60-дневных) животных, находящихся

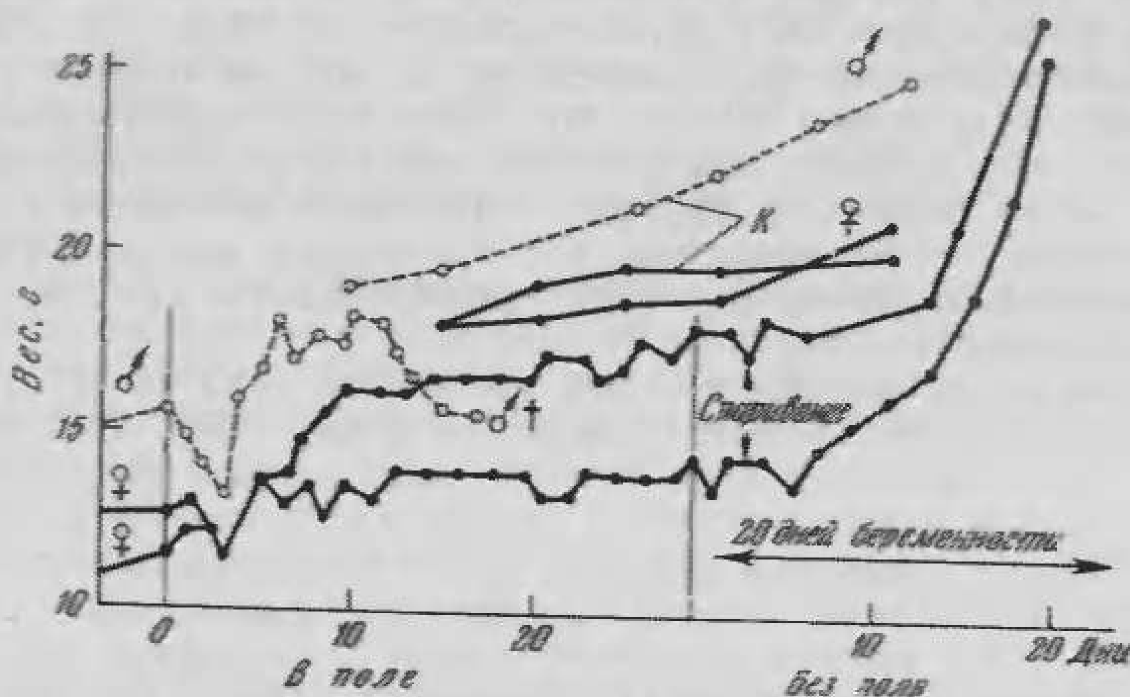


Рис. 48. Влияние постоянного магнитного поля 5900 э на рост мышат, начиная от 5-дневного возраста

♂ — самцы, ♀ — самки, К — контроль

в магнитном поле с напряженностью 4200 э при градиенте 80 э/см или с напряженностью 3600 э при градиенте 650 э/см (градиенты определялись относительно центра тяжести тела мышей). В таких опытах, проведенных на 680 животных, были получены следующие результаты:

1. При всех условиях магнитное поле вызывало отставание в прибавке веса по сравнению с контролем.

2. Поле с малым градиентом (4200 э, 80 э/см) оказывало более значительное действие такого рода, чем поле с большим градиентом (3600 э, 650 э/см).

3. Среднее различие в весе опытных и контрольных мышей было больше у молодых животных, чем у взрослых, а относительное уменьшение более выражено у взрослых.

4. Индивидуальные различия в опытной группе были больше, чем в контрольной, что свидетельствует о вариациях в действии поля на отдельных особей.

5. На второй день облучения при всех условиях отмечалось резкое падение веса.

Последний эффект — «минимум 2-го дня» — специально ис-

следовался на животных 5-недельного возраста на протяжении 10 недель. В течение этого срока две группы животных попеременно пребывали по 4 дня в поле с напряженностью 9400 э и последующие 4 дня в таких же условиях (макет магнита), но без поля. Суммарные результаты приведены на рис. 49, из которого видно, что резкое падение веса на 2-й день отчетливо проявляется в обеих группах ($P<0{,}0001$). При этом величина минимума не

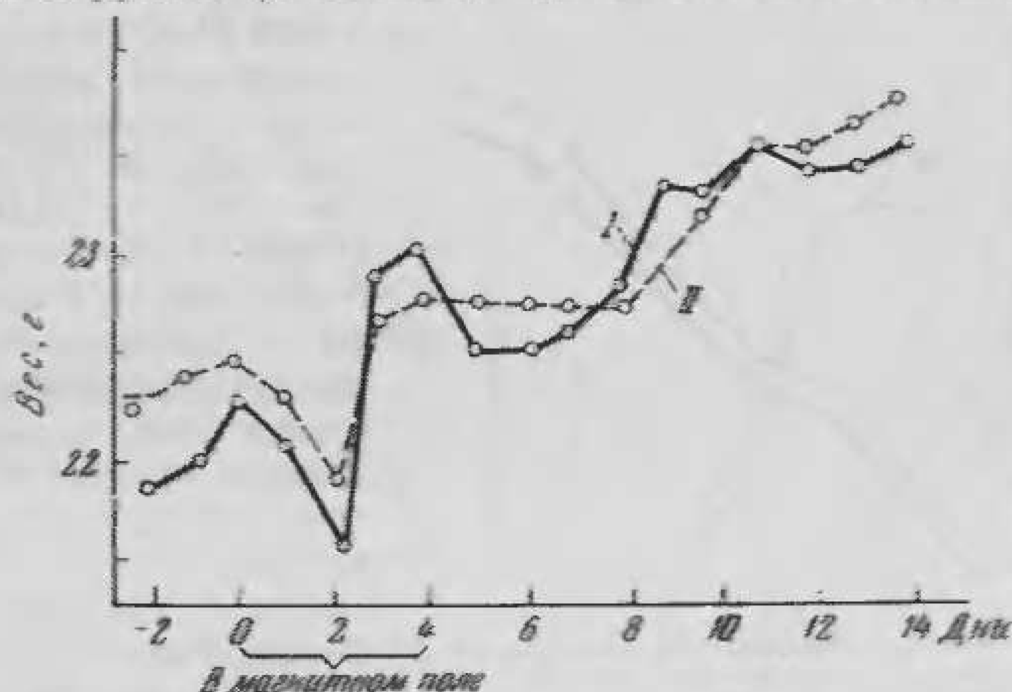


Рис. 49. Иллюстрация резкого понижения веса мышат на второй день пребывания в магнитном поле 9400 э

I и *II* — группы, попеременно находившиеся по 4 дня в магнитном поле и по 4 дня вне поля

уменьшалась в последующих циклах, а значит, животные не адаптировались к «шоку», вызванному действием поля.

Обнаружено и влияние СВЧ-полей на рост крыс при многократном воздействии (Лобанова, 1960). Облучения (3000 *мгц*, 10,40 и 100 *мвт/см*²) проводились по 60, 15 и 5 мин. в день (соответственно возрастанию интенсивности) на протяжении 4 недель. На рис. 50 приведены кривые веса (средние данные по 45 животным), иллюстрирующие несколько больший вес у облученных животных, чем у контрольных, причем это различие возрастало после прекращения облучений. Таким образом, СВЧ-поля (при данных условиях воздействия) в противоположность магнитному полю оказывают небольшое стимулирующее влияние на рост животных.

В связи с описанными проявлениями действия ЭМП на размножение и развитие животных были предприняты исследования влияния СВЧ-полей на содержание в тканях и органах животных ДНК и РНК, а также на активность соответствующих ферментов — рибонуклеазы (РНК-азы) и дезоксирибонуклеазы (ДНК-азы). В опытах с СВЧ-полями диапазона 24 000 *Мгц*

(Керова, 1964) крысы облучались в течение 6 мин с интенсивностями 100 и 500 *мвт/см²*. Оказалось, что СВЧ-поля вызывают понижение активности ДНК-азы и РНК-азы; содержание РНК повышалось, а ДНК понижалось. Инфракрасное облучение вызывало аналогичные по характеру, но меньшие по величине изменения.

Исследования влияния СВЧ-полей нетепловых интенсивностей (3000 *Мгц*, 10 *мвт/см²*) на содержание нуклеиновых кислот проводились при хроническом воздействии на крыс (Никогосян, 1964в). При ежедневном облучении по 1 часу через 40—60 сеансов было отмечено понижение содержания РНК только в селезенке, после 80 сеансов — также в мозге и печени; после 120—140 сеансов наблюдалось восстановление содержания РНК, а через 30—35 дней после прекращения облучений полностью восстанавливалось нормальное содержание РНК. Во всех опытах содержание ДНК не изменялось.

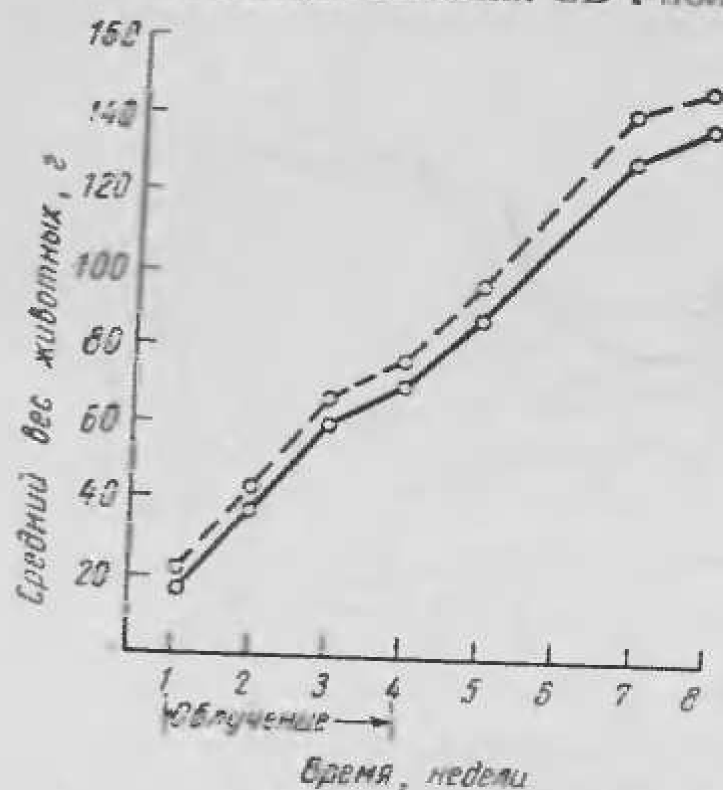


Рис. 50. Влияние хронического облучения СВЧ-полями на прирост веса у крыс

Сплошная кривая — контроль, пунктирная — при облучении

Влияние магнитного поля на развитие растений изучают уже более 60 лет. Еще в 1903 г. Эварт (Ewart) обнаружил, что если поместить водные растения (*Valisneria* и *Chara*) в магнитное поле так, чтобы движение протоплазмы было перпендикулярно силовым линиям, то оно замедляется или даже останавливается; при параллельном движении эффекта не было. Позднее Савостин (1928, 1937) подтвердил эффект перпендикулярного поля, а также наблюдал замедление движения протоплазмы на 15—30% в сильном параллельном поле — 7000 э. Он нашел, что в перпендикулярном поле чаще отмечается ускорение, чем замедление скорости движения протоплазмы.

Савостин обнаружил также, что под влиянием магнитного поля увеличивается скорость прорастаний корешков растений и проницаемость клеточной оболочки. Дальнейшие исследования подтвердили эти эффекты, а также выявили и другие проявления действия магнитного поля на растения.

Установлено, что магнитное поле повышает урожай томатов

(Кармилов, 1948) и ускоряет их созревание (Boe, Salunkhe, 1963), что под действием поля с напряженностью всего 20—60 э увеличивается рост корневой системы у ржи и бобов, быстрее прорастают семена пшеницы и кукурузы (Крылов, Тараканова, 1960; Pittman, 1963). Иллюстрацией таких эффектов могут служить опыты с ячменем (Mericle et al., 1964): в магнитном поле с напряженностью 1200 э корни и ростки ячменной рассады растут быстрее обычного (рис. 51).

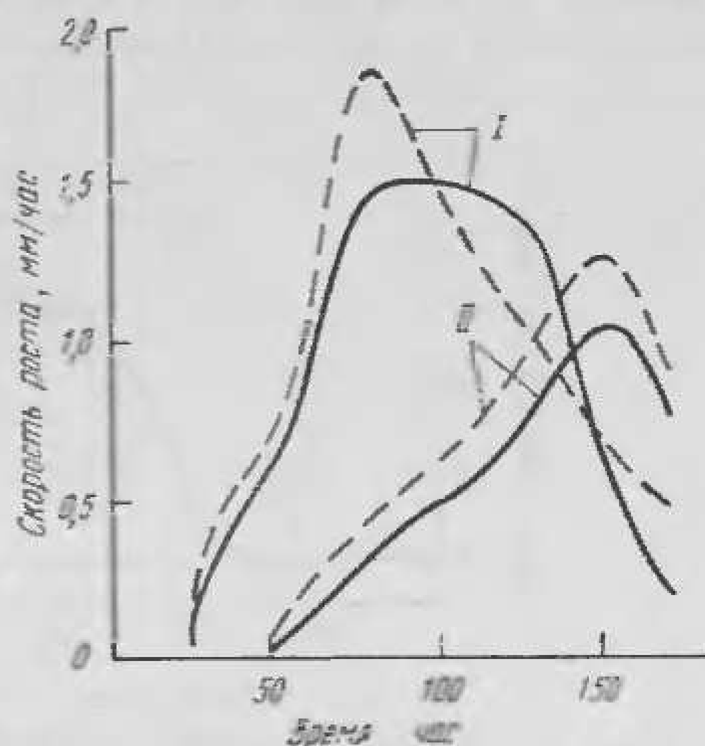


Рис. 51. Влияние магнитного поля 1200 э на скорость роста корней (*I*) и ростков (*II*) ячменной рассады

Пунктирные кривые — в магнитном поле, сплошные — контроль

Попытки выяснить биохимический механизм влияния слабых и сильных магнитных полей на растения (Новицкий и др., 1965, 1966; Новицкий, 1966а, 1966б) привели к установлению следующих закономерностей.

1. Стимулирующее действие слабых магнитных полей (20—60 э) на рост растений особенно выражено в первые 2—3 дня прорастания семян — в период относительно низкой ферментативной активности; в этот период воздействие поля приводит к пониженному потреблению кислорода (до 20—25% у 2-дневных проростков ржи), увеличивает частоту митозов в корнях и стеблях, повышает содержание ДНК в клетках растений.

2. В листе элодеи под действием поля 20 э ускоряется движение хлоропластов в токе протоплазмы (летом — в 90% случаев, осенью — в 52%); уменьшается электросопротивление гелей веществ растительного происхождения — на 5—15% у агар-агара и на 5—40% у крахмала.

3. При воздействии сильного поля (4500 э, 1 час), параллельного оси семян злаковых, их магнитная восприимчивость понижается на 20% по сравнению со значением у контрольных семян (ориентированных вдоль магнитного поля Земли).

В других исследованиях (Тарчевский, 1964; Заботин, 1965; Заботин, Неустроева, 1966) отмечено понижение фотосинтетического обмена в листьях элодеи и пшеницы.

Наблюдались и явления «магнитотропизма» — ориентированного роста корневой системы в магнитном поле. Так, например, корешки кукурузы при прорастании отклоняются к южному

магнитному полюсу (Крылов и Тараканова, 1960), а корешки кресс-салата и кукурузы, колеоптили овса и гипокотили подсолнечника — в сторону меньшей напряженности магнитного поля (Audus, 1960), как это иллюстрирует для кресс-салата график угла искривления, приведенный на рис. 52 (Audus, Wish, 1964).

В опытах с проростками овса наблюдали (Pickett, Schrank, 1965) влияние магнитного и электрического поля на изгиб колеоптилей. В магнитном поле с напряженностью 565 и 1200 *гс* изгиб колеоптилей проростков (вращаемых в клиностате с угловой скоростью 1 *об/мин*) составлял 10,44°, тогда как в контроле он был

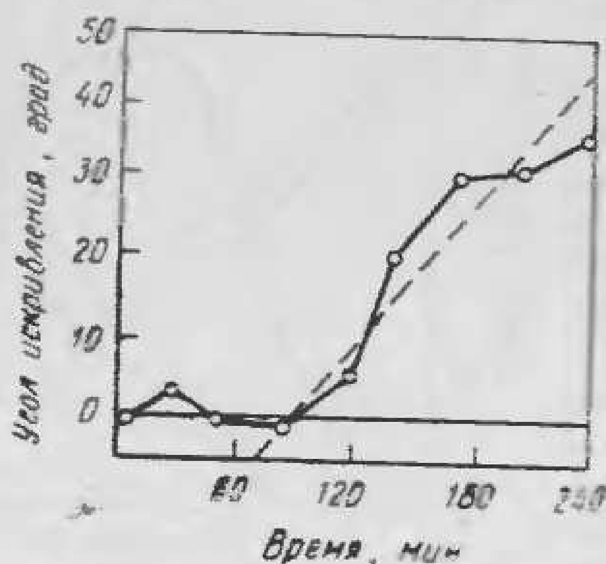


Рис. 52. Искривление корня кресс-салата, растущего в магнитном поле (в сторону меньшей напряженности поля) в зависимости от времени воздействия

равен 15,15°; а электрическое поле с напряженностью 268—1230 *в/см* полностью устраняло изгиб. Совокупное действие магнитного и электрического полей давало меньший эффект.

Недавно обнаружено, что на рост растений влияет и электростатическое поле (Murr, 1965). В опытах с сорго обыкновенным и ежой сборной было установлено угнетающее влияние электрического поля на развитие этих растений; наблюдался также значительный процент повреждений эпидермиса листьев. На рис. 53 приведен график зависимости процента поврежденных растений от «статической» напряженности поля (неизменной в процессе роста растения). Автор указывает, однако, что сильнее действует «динамическая» напряженность поля (изменяющаяся по мере роста растения), которая и обусловливает возникновение отрицательного заряда на верхних листьях растения (в отсутствие поля все листья имеют положительный заряд). Обнаружено появление в поврежденных листьях ион-радикалов и поляризованных молекул.

Экспериментальные данные о влиянии ЭМП на рост животных и растений не позволяют еще делать какие-либо заключения. Можно отметить только общие черты в действии магнитного поля: на рост животных оно оказывает угнетающее действие, а на рост растения — стимулирующее.

Что касается влияния ЭМП на различные стадии развития организмов — от зародышевой клетки до растущего организма, то в этом отношении можно пока отметить только одну общую чер-

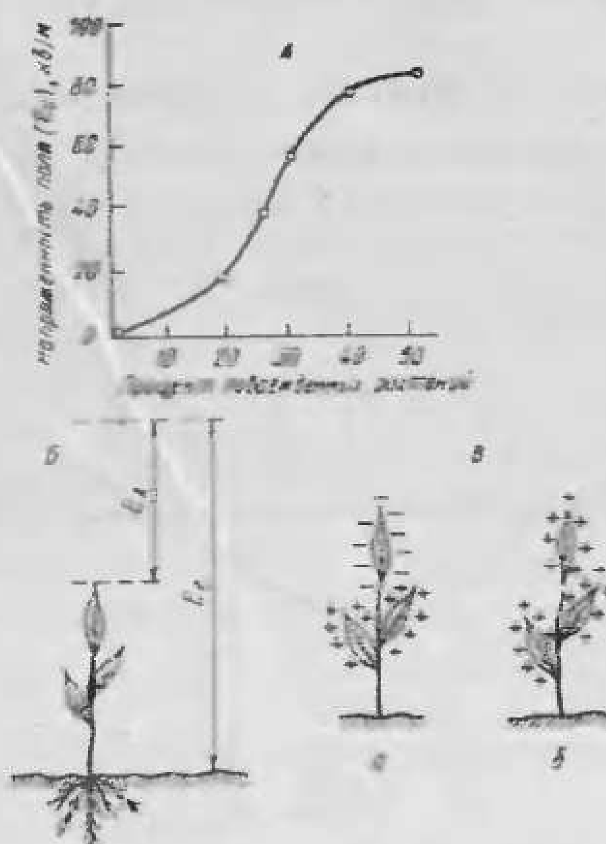


Рис. 53. Влияние электростатического поля на развитие сорго обыкновенного

А — повреждение растений в зависимости от напряженности поля, *Б* — статическая ($E_с$) и динамическая ($E_д$) напряженности поля, *В* — электрические заряды на листьях в электростатическом поле (*а*) и вне поля (*б*)

ту: в большинстве опытов проявлялось нарушающее действие ЭМП на эти процессы.

Глава 9

ЭФФЕКТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА КЛЕТОЧНОМ И МОЛЕКУЛЯРНОМ УРОВНЯХ

Рассматривая проявления действия ЭМП на развитые целостные организмы и на процессы развития от клетки до сформировавшегося организма, мы сталкивались с различными эффектами на клеточном и молекулярном уровнях. Естественно возникают вопросы: какие эффекты могут возникнуть при воздействии ЭМП на клетки и макромолекулы вне организма? В какой мере эти эффекты будут отличаться от тех, которые наблюдаются на этих уровнях в целостных организмах?

По этим вопросам накоплен уже значительный экспериментальный материал (особенно за последние годы): исследовалось

влияние ЭМП на изолированные ткани и клетки, на культуры клеток и одноклеточные организмы, на белковые растворы и кристаллические белки и, наконец, влияние магнитного поля на физико-химические и биологические свойства воды.

9.1. Действие ЭМП на изолированные ткани и клетки

Эффект изменения углеводного обмена в печени под действием ЭМП исследовался в опытах с изолированной печенью (Будко, 1964а). Опыты проводились в диапазоне частот от 0,5 до 21 500 *кгц* при одинаковой напряженности 15 *в/см*. Обнаружено,

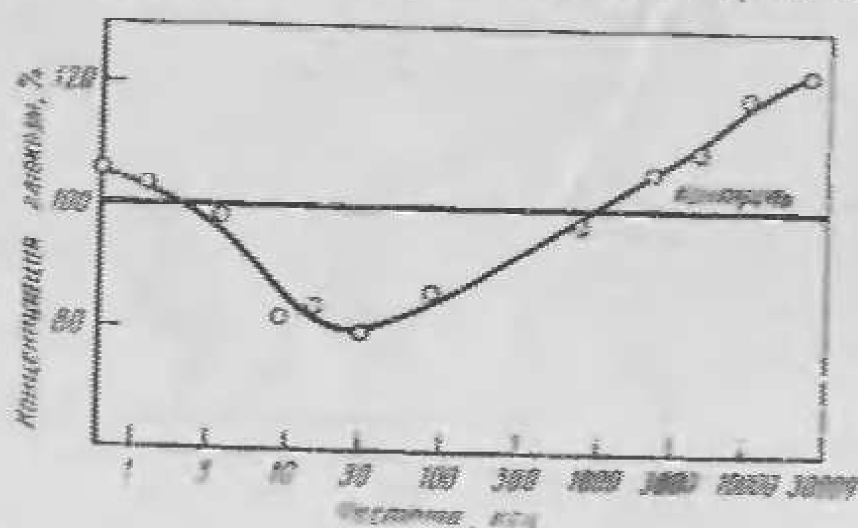


Рис. 54. Изменение концентрации глюкозы в изолированной печени крысы под действием ЭМП низких и высоких частот

что низкочастотные и высокочастотные ЭМП понижают содержание глюкозы по сравнению с контролем, а УВЧ-поля повышают. На рис. 54 приведен график частотной зависимости эффекта (по средним значениям из 150 опытов при $P<0{,}02$). Исследовалась и зависимость эффекта от напряженности ЭМП, характер которой графически представлен на рис. 55. Таким образом, изменение углеводного обмена в изолированной печени под действием ЭМП в значительной степени зависит от частоты воздействующих ЭМП и от их напряженности. Характерно, что эффект не возрастает с напряженностью, а достигает максимума при некотором «оптимальном» ее значении.

В связи с особой чувствительностью нервной системы животных к ЭМП представляют интерес исследования непосредственного действия ЭМП на изолированные нервные клетки; еще в 1900 г. Данилевский обнаружил возбуждение нерва лягушки, находящегося на расстоянии нескольких метров от источника ЭМП — искрового разрядника, но дальнейшие исследования в этом направлении были весьма ограниченными.

Возбуждение или изменение возбудимости нервно-мышечного препарата низкочастотными ЭМП наблюдал Петров в 1935 г.

Однако только в последние годы были получены некоторые дополнительные данные об этом эффекте: обнаружено, что изменение возбудимости сохраняется в течение 1—5 мин. после раздражений нерва низкочастотным ЭМП и носит двухфазный характер (Сазонова, 1960), а также что низкочастотные ЭМП сенсибилизируют нерв к блокирующему действию новокаина и растворов с высоким содержанием калия (Пудовкин, 1964).

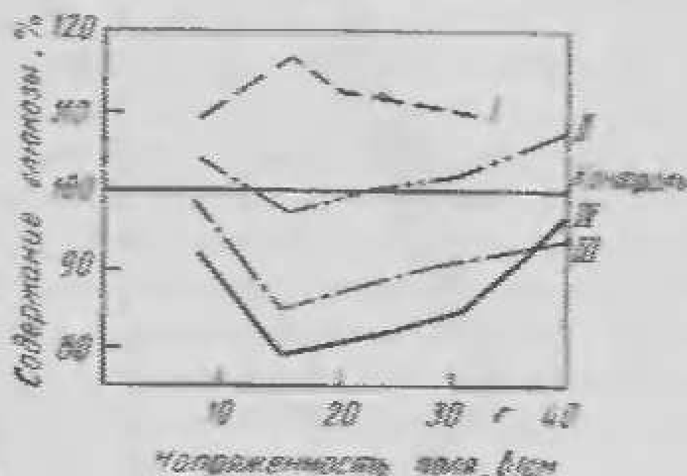


Рис. 55. Изменение концентрации глюкозы в изолированной печени крысы в зависимости от напряженности ЭМП

I — 9,5 *Мгц*, *II* — [illegible] *кгц*, *III* — [illegible] *кгц*, *IV* — 29 *кгц*

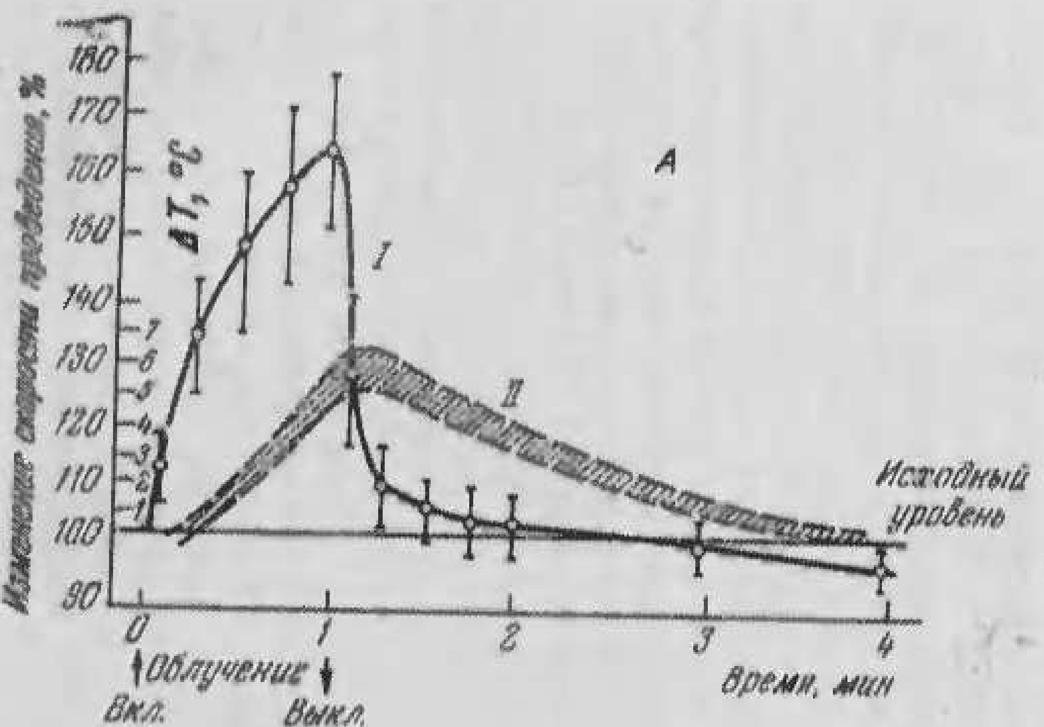
Более определенные данные получены по поводу эффекта повышения возбудимости нервно-мышечного препарата лягушки под действием СВЧ-полей. Первое качественное описание этого эффекта появилось в 1960 г. (Бычков, Морева), а количественные исследования проведены в последние годы (Каменский, 1964, 1967). Методы и результаты этих исследований заслуживают более подробного описания.

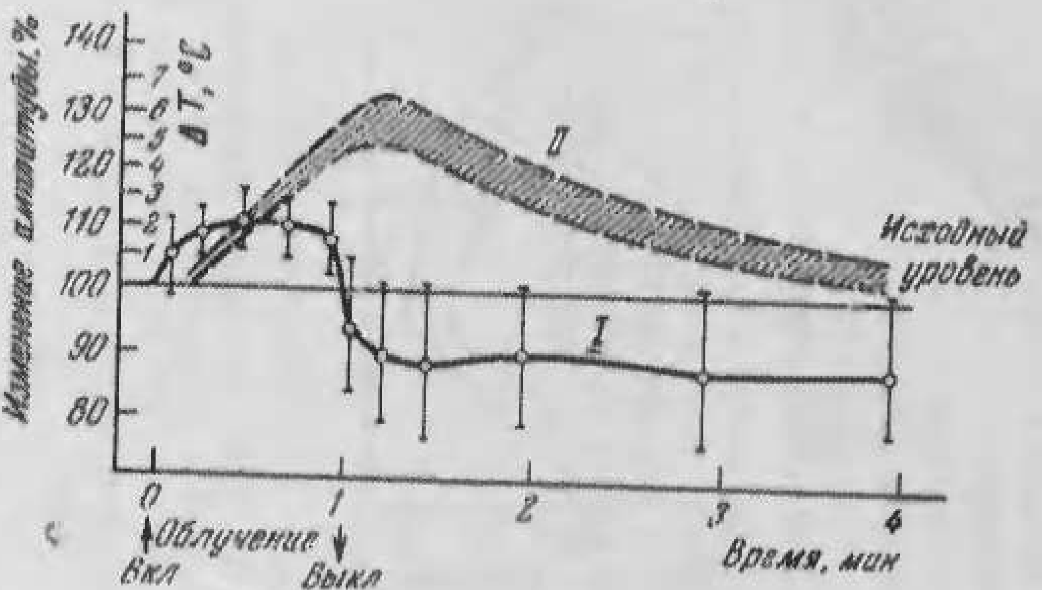
Воздействие производилось непрерывными СВЧ-полями диапазона 2400 *Мгц* при интенсивности облучения 10—1000 *мвт/см²* и импульсными СВЧ-полями в диапазоне 3000 *Мгц* с длительностью импульса 1 *мксек*, частотой повторения 100—700 *имп/сек* при средней интенсивности около 10 *мвт/см²*. При раздражении нерва прямоугольными импульсами постоянного тока длительностью от 0,1 до 1 *мксек* два раза в секунду определяли изменение пяти параметров функционального состояния нерва — порога возбудимости, амплитуды биопотенциалов, скорости проведения возбуждения по нерву и длительности абсолютной и относительной рефрактерной фазы. Одновременно измеряли нагревание нерва СВЧ-полями.

В этих исследованиях получены следующие результаты:

1. В экспериментах с непрерывными СВЧ-полями, нагревавшими нерв на 2° в течение 30 мин., отмечено только увеличение скорости проведения возбуждения на 16±4,5% и небольшое укорочение абсолютной и относительной рефрактерной фазы. При более высоких интенсивностях, когда нерв нагревался на 3—9° за 1 мин., этот эффект был выражен значительно сильнее.

Из сравнения приведенных на рис. 56 графиков изменения этого параметра нерва при СВЧ-облучении и обычном нагревании нерва очевидно, что дело здесь не в тепловом, а в каком-то ином действии СВЧ-полей. Кроме того, при высоких интенсивностях СВЧ-облучения обнаружено и двухфазное изменение ампли-





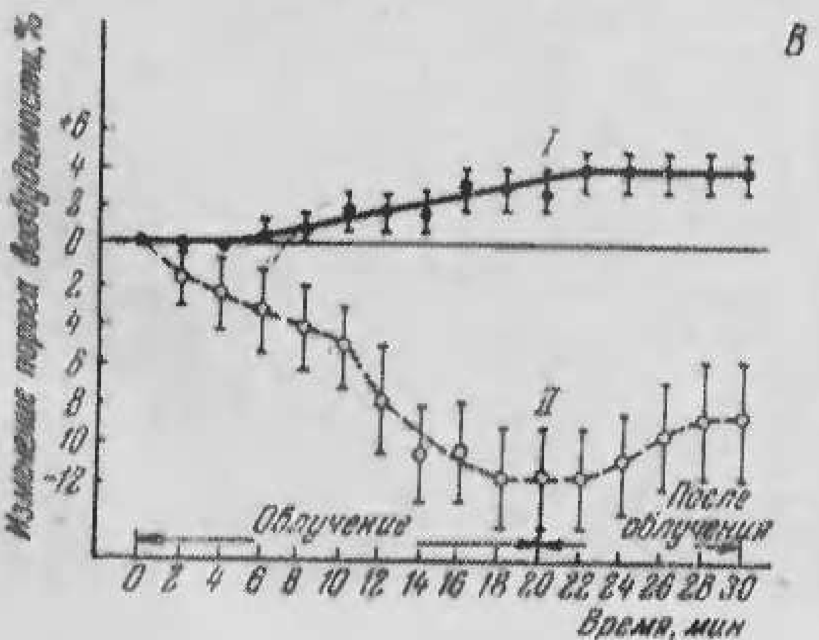


Рис. 56. Изменение скорости проведения возбуждения (*А*), амплитуды биопотенциалов (*Б*) и порога возбудимости (*В*) нерва лягушки под действием СВЧ-полей

I — при СВЧ-облучении, *II* — контроль

туды биопотенциалов, как это показано на рис. 56, *Б*, причем и этот эффект носил нетепловой характер.

2. В экспериментах с импульсными СВЧ-полями, нагревавшими нерв на 2° в течение 30 мин., наблюдалось повышение возбудимости (понижение порога возбудимости), как это видно из графика на рис. 56, *В*. Выявлено также увеличение скорости проведения возбуждения на 10% от исходной.

Обнаружено, кроме того, влияние постоянного магнитного поля на нервные и мышечные клетки. Воздействие поля с напряженностью 15 000 *э* на фибриллы миокарда садовой улитки (во влажной камере) приводило к уменьшению диастолической активности и частоты сокращений; после выключения поля наблюдалось кратковременное повышение этих величин выше исходного уровня, с последующим понижением ниже исходного уровня (Chalazonits, Arvanitaki, 1965). В исследованиях с нервно-мышечным препаратом лягушки (Аминаев, Хасанова, 1966) полем с напряженностью 300—800 *э* воздействовали на икроножную мышцу, утомленную в результате ритмической электрической стимуляцией нерва с частотой около 2 *имп/сек*. В этих условиях утомление мышцы и наступление мионеврального шока задерживались по сравнению с контролем.

Наблюдали влияние магнитного поля (2000 *э*) на спонтанную биоэлектрическую активность изолированной нервной цепочки речного рака (Лукьянова, 1966). В опытах на 50 препаратах было установлено, что в осенний период в 70% случаев отмечается увеличение активности ($P < 0{,}05$), а в зимний — уменьшение в 76% случаев ($P<0{,}01$).

9.2. Влияние ЭМП на культуры клеток

Влияние ЭМП на культуры клеток может быть либо стимулирующим, либо угнетающим — в зависимости от вида культуры и частоты воздействующих ЭМП.

Стимулирующее действие СВЧ-полей было обнаружено в экспериментах с культурой тканей сердца куриного эмбриона (Seguin et al., 1948, 1949). Облучение СВЧ-полями малой интенсивности (1400 и 1000 *Мгц*), вызывавшее незначительное нагревание культуры, приводило к усиленному ее росту по сравнению с ростом контрольной, нагреваемой инфракрасными лучами до той же температуры.

Противоположное, угнетающее влияние низкочастотных ЭМП установлено в опытах с культурами нормальных и злокачественных клеток человека (Knoepp et al., 1962). Культуры подвергались воздействию ЭМП в диапазоне от 99 до 1000 *гц* при напряженности поля 1,1—1,7 *в/м* в течение 1—3 час. Температура культур повышалась при этом всего на 2,3°, но наблюдалось замедление роста — от незначительного замедления до полного пре-

кращения развития культуры и гибели клеток. Особый интерес представляет тот факт, что эти эффекты возникали только при определенных частотах, специфичных для каждого типа клеток.

В ряде исследований наблюдали угнетающее действие магнитного поля на культуры злокачественных клеток. В культуре раковых клеток носоглотки человека (КВ-клетки) магнитное поле с напряженностью 4000 *э* на третьи сутки вызывало уменьшение числа клеток на $9 \pm 7\%$, тогда как в контрольной культуре за это время происходило увеличение числа клеток на $31 \pm 11\%$ (Butler, Dean, 1964). Клетки культуры асцитной саркомы S-37 дегенерировали после 18-часового пребывания в магнитном поле с напряженностью 4000—8000 *э* при температуре 37° (Mulay I., Mulay L., 1961; Mulay L., 1964). В клетках культуры асцитного рака Эрлиха, подвергнутой воздействию магнитного поля с напряженностью 7300 *э* в течение 1—3 час. (при температуре 37°), значительно понижалась (до 52%) интенсивность кислородного обмена (Reno, Nutini, 1963).

Вместе с тем описанные в § 6.4 эффекты угнетающего действия УВЧ- и СВЧ-полей на злокачественные опухоли, наблюдавшиеся in vivo, в опытах с соответствующими культурами клеток не обнаружены: воздействие УВЧ-полей на культуру асцитного рака Эрлиха (Merli et al., 1963) и воздействие СВЧ-полей на культуру мышиной саркомы 180 (Moressi, 1964) приводило только к тепловому эффекту.

При изучении влияния магнитного поля на кровь человека in vitro (Могендович, Тишанкин, 1948а, 1948б; Могендович, Шерстнева, 1947, 1948а, 1948б; Могендович, 1965) были установлены следующие эффекты:

1. Реакция оседания эритроцитов (РОЭ) замедляется, причем эритроциты приходят во вращательное движение.

2. Скорость падения капли крови в растворе медного купороса (равного удельного веса) увеличивается, что связано с изменением проницаемости поверхности капли.

3. Скорость свертывания крови уменьшается.

Недавно обнаружен эффект влияния магнитного поля на специфическую агглютинацию эритроцитов человека (Hackel et al., 1961, 1964; Foner, 1963; Hackel, 1964). Исследовали влияние магнитного поля с напряженностями от 23 до 18 000 *гс* на процент агглютинации эритроцитов определенной группы крови в присутствии соответствующих сывороток (агглютининов), обычно агглютинирующих эти эритроциты. Повышение процента агглютинации по сравнению с контролем наблюдалось при напряженностях выше 53 *гс* и достигало максимума при 5000—8000 *гс*, несколько уменьшаясь при более высоких напряженностях.

Мы уже упоминали об эффекте ориентации эритроцитов и лейкоцитов вдоль электрических силовых линий УВЧ-поля (Her-

rick, 1958; Wildervank et al., 1959). А недавно такой эффект был обнаружен и под действием магнитного поля (Murayama, 1965); в поле с напряженностью 3500 *гс* серповидные эритроциты (патологически измененные эритроциты при так называемой «серповидноклеточной анемии») ориентировались перпендикулярно магнитным силовым линиям.

9.3. Влияние ЭМП на одноклеточные организмы

Эффекты влияния ЭМП на одноклеточные организмы можно разделить на две группы: 1) определенная ориентация или направленное движение одноклеточных, связанные, по-видимому, с воздействием ЭМП на их «периферическую возбудимую структуру»; 2) изменение физиологических функций, которое можно было бы связать с воздействием ЭМП на «центральные» (внутриклеточные) системы регуляции у одноклеточных.

Эффекты ориентированного движения одноклеточных организмов вдоль силовых линий электрического поля и ЭМП низких частот («электротаксис» и «осциллотаксис») были открыты еще в конце прошлого века (см. обзор Scheminzky, Bukatsch, 1941). Однако основные закономерности этих эффектов выявлены только в последние годы, в результате изучения одноклеточных в УВЧ-полях (Herrick, 1958; Wildervank, et al., 1959; Heller, 1959, Teixeria-Pinto et al., 1960; Heller, Mickey, 1960; Mickey, 1963):

1. Подвижные одноклеточные организмы (жгутиковые, ресничные) ориентируются и движутся в поле УВЧ либо параллельно, либо перпендикулярно электрическим силовым линиям в зависимости от частоты, характерной для каждого вида этих организмов. Как правило, движение перпендикулярно полю наблюдается при более высоких частотах, чем движение параллельно полю. Так, например, эвглены движутся в поле с частотами 6—7 *Мгц* вдоль силовых линий (рис. 57), а в поле с частотами 27—30 *Мгц* — перпендикулярно линиям.

2. Амебы вытягивают свое тело вдоль линий поля при частоте около 5 *Мгц*, но перпендикулярно при частоте 27 *Мгц*. При этом их внутриклеточные несимметричные частицы могут быть ориентированы в направлении, перпендикулярном ориентации тела под действием УВЧ-полей. Такая же взаимно перпендикулярная ориентация тела и внутриклеточных частиц наблюдалась и у парамеций.

Эти реакции одноклеточных на УВЧ-поля пытались рассматривать как пассивные по аналогии с подобной ориентацией частиц, описанной выше (§ 4.5). Однако дальнейшие исследования показали, что поведение одноклеточных в поле любых частот обусловливается скорее физиологическими реакциями этих организмов, чем чисто физическими процессами. Еще в 1936 г. (Kino-

sila) было обнаружено, что в постоянном электрическом поле у ресничных инфузорий на стороне тела, обращенной к катоду, происходит реверсия (изменение направления) биения ресничек. А позднее тот же автор (1954) установил наличие разности потенциалов между внутренней и наружной поверхностью тела инфузорий (как в нервной клетке), которая периодически изменяется в соответствии с биениями ресничек. Недавно было показано (Dryl, 1965), что поворот и направление движения ресничных инфузорий относительно силовых линий электрического поля связаны с деполяризацией поверхностной оболочки, вызывающей реверсию биения ресничек. Этот же автор нашел, что направление ориентированного движения одноклеточных в УВЧ-поле зависит не только от частоты, но и от напряженности поля. Так, например, при частоте 11,5 *Мгц* и напряженности около 1000 *в/см* одноклеточные *Rhabdomonas incurva* движутся вдоль линий поля, *Astasia* перпендикулярно, а *Colpidium* беспорядочно; при 27 *Мгц* и напряженности поля около 600 *в/см* все эти одноклеточные движутся перпендикулярно линиям поля.

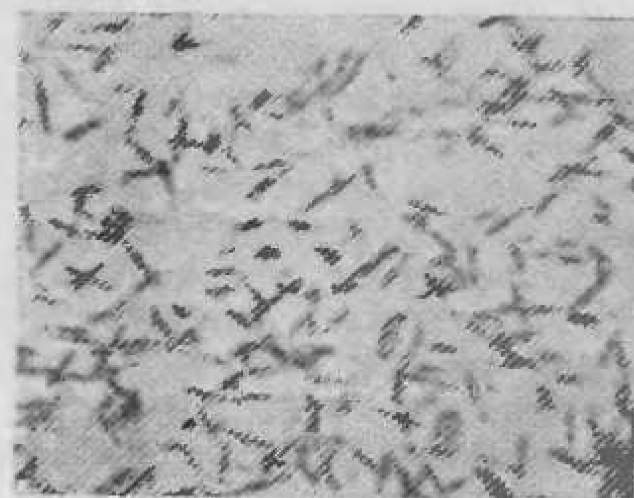




Рис. 57. Ориентированное движение одноклеточных организмов (эвглены) под действием ЭМП с частотой 5—7 *Мгц*

а — беспорядочное движение без ЭМП. *б* — ориентированное движение параллельно электрическим силовым линиям воздействующего ЭМП

В серии исследований с парамециями (Пресман, 1963б; Пресман и Раппепорт, 1964а, 1964б; Зубкова, 1967б) были получены данные, свидетельствующие о наличии у этих инфузорий возбудимой структуры, функционирующей подобно нервно-мышечной системе позвоночных. Было обнаружено, что на импульсы постоянного и переменного тока при определенных пороговых напряжениях инфузории отвечают «электрошоковой реакцией» (ЭШР), проявляющейся в виде резкой остановки движения с поворотом оси тела параллельно электрическим силовым линиям. Оказалось, что зависимость пороговых напряжений (при которых возникает ЭШР) от длительности импульса постоянного тока и от частоты переменного тока носит такой же характер, как

и при соответствующих раздражениях нервных и мышечных тканей позвоночных животных (рис. 58).

При непрерывном воздействии переменным током различных частот по мере увеличения напряжения наблюдались последовательно три типа движений парамеций и, наконец, их гибель. Эти

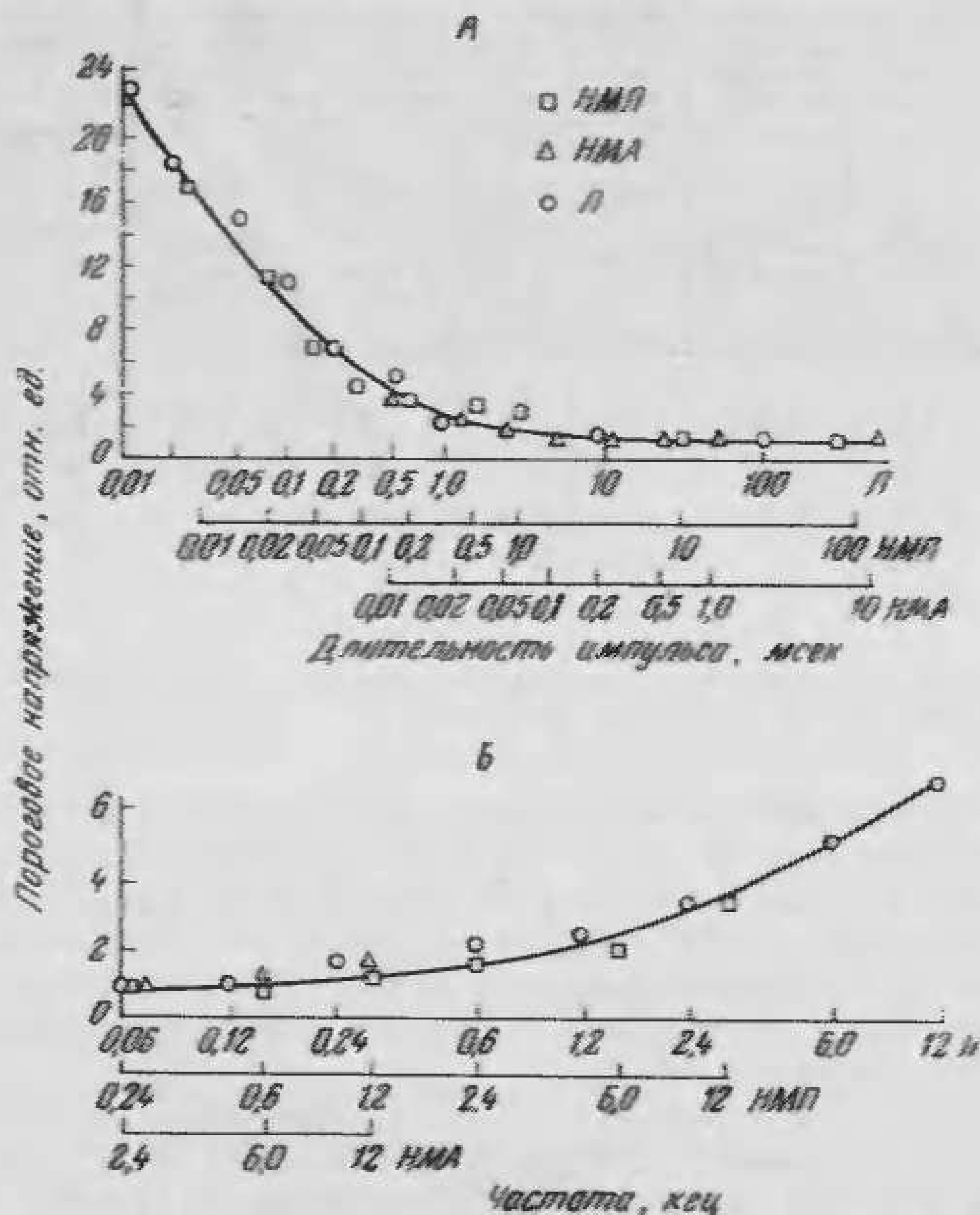


Рис. 58. Сравнение зависимости порога возбудимости парамеций (*П*), нервно-мышечного препарата лягушки (*НМП*) и нервно-мышечного аппарата человека (*НМА*) от длительности раздражающих импульсов постоянного тока (*А*) и частоты переменного тока (*Б*)

данные приведены в табл. 14, из которой видно, что реакция инфузорий усиливается по мере увеличения частоты. Это выражается в том, что для одного и того же цикла изменений поведения парамеций при частотах 5000 и 50 000 *гц* требуется значительно меньший интервал изменений напряжения (по отношению к пороговому для ЭШР), чем при частотах 50 и 500 *гц*. Интересно, что под действием ЭМП парамеции совершают такого же типа движения, какие наблюдались у них (Parducz, 1954) в естественных условиях.

Таблица 14

Поведение парамеций при непрерывном воздействии ЭМП разных частот в зависимости от напряжения

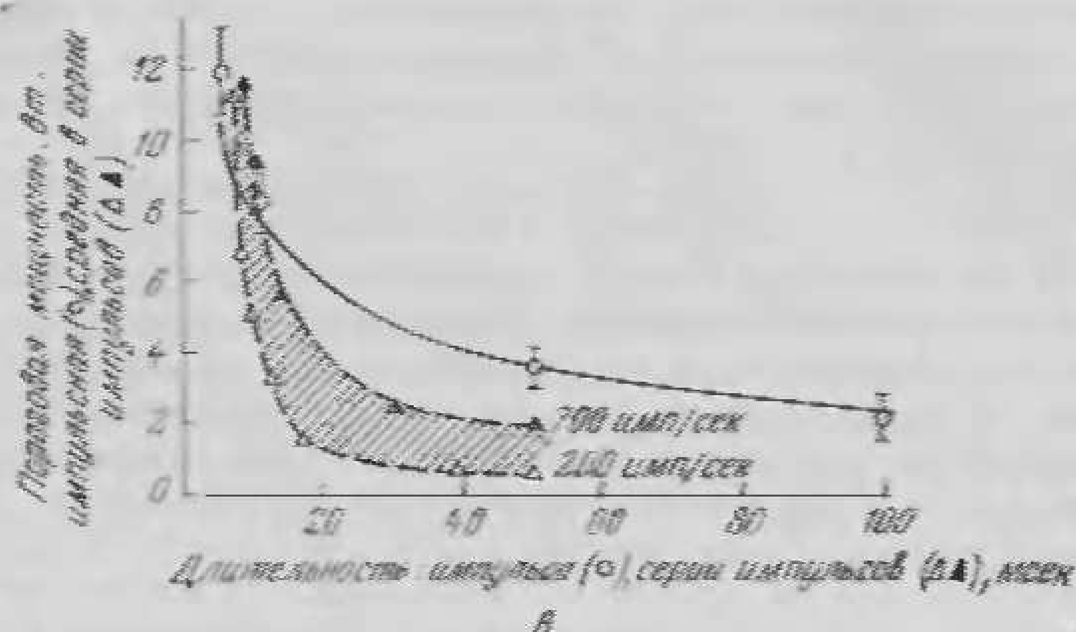
Частота, гц	Напряжения, при которых наблюдаются различные типы поведения							
	слабое вращение некоторых инфузорий, находящихся в ЭМП		вращение с резкими скачками у всех инфузорий, находящихся в ЭМП		колебания инфузорий при расположении оси тела перпендикулярно электрическим силовым линиям		«поляризация» инфузорий, разбухание их тела и гибель	
	в вольтах	относительно порога ЭШР	в вольтах	относительно порога ЭШР	в вольтах	относительно порога ЭШР	в вольтах	относительно порога ЭШР
50	1/1 *	2,8/2 *	1,7	4,7	4,5/5 *	12,5/10 *	5,5	15,2
500	1	1,3	1,5	2	6	7,8	8	10,4
5 000	4	1,7	5,5	2,3	—	—	6,7	2,8
50 000	6,2	1	12,5	2	—	—	20	3,3

* В числителе — данные описываемых исследований, в знаменателе — данные из работы Шеминского и др. (Scheminzky et al., 1941).

Результаты этих исследований (проведенных в широком диапазоне частот — от 20 *гц* до 10 *Мгц*) подтвердили ранние предположения о существовании у парамеций возбудимой структуры, чувствительной к ЭМП, и дали надежду, что парамеции будут реагировать подобным образом и на СВЧ-поля. И такая чувствительность была обнаружена (Пресман, 1963в; Пресман, Раппепорт, 1965; Зубкова, 1967а).

Оказалось, что реакция ЭШР у парамеций возникает на одиночные импульсы СВЧ-полей (2400—3000 *Мгц*) различной длительности или на серии коротких импульсов (1 *мксек*). Пороговые значения мощности в импульсе (или средней мощности в серии импульсов), при которых возникала реакция, были обратно пропорциональны длительности импульсов (или длительности серии импульсов), как это показано на рис. 59, *А*. Далее выяснилось, что хотя при подпороговых мощностях СВЧ-импульсы не вызывают ЭШР, но отмечается повышение чувствительности парамеций к другим раздражителям. Такая сенсибилизация к раздражению импульсами переменного тока показана на рис. 59, *Б*.

Отметим типичные черты рассмотренных реакций: 1) характер двигательной реакции ЭШР был одинаковым как при воздействии переменными токами самых различных частот, так и под действием СВЧ-полей (3000 *Мгц*); 2) пороговые значения напряжений и мощности, при которых возникала ЭШР, были обратно



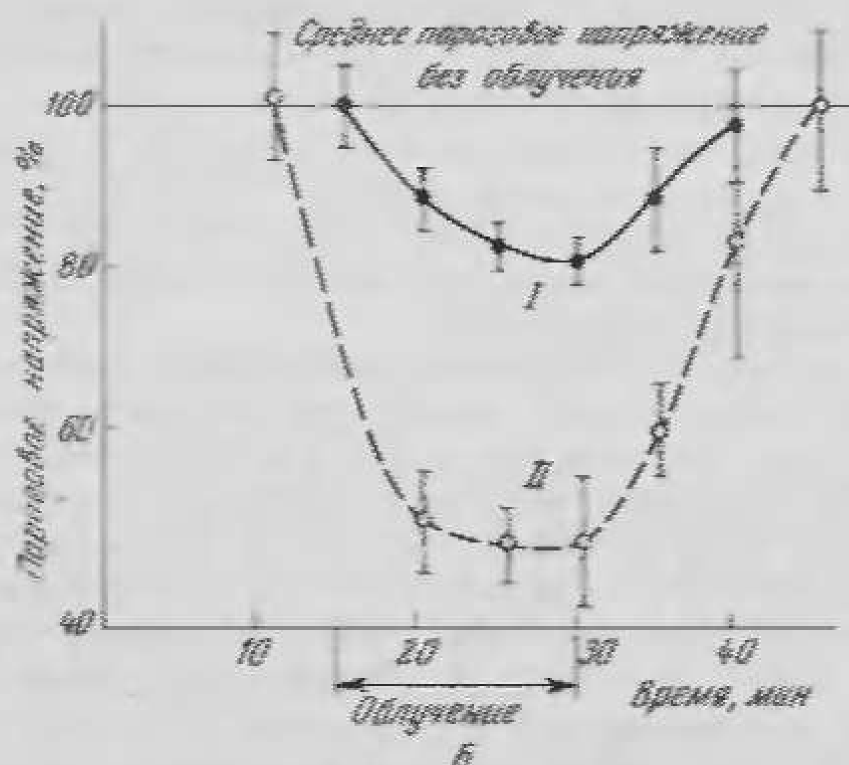


Рис. 59. Влияние СВЧ-полей на возбудимую структуру парамеций

А — зависимость пороговой мощности импульсов (сплошная кривая) или серий импульсов (заштрихованная область), вызывающих ЭШР, от длительности импульса или серии; Б — понижение порогового напряжения для ЭШР при раздражении импульсами переменного тока (1200 гц, 120 мсек) при одновременном воздействии импульсами СВЧ-полей: I — одиночные импульсы, II — серии импульсов

пропорциональны квадратному корню из величины длительности импульса или частоты (а не первым степеням этих величин), 3) нагревание среды, в которой находились парамеции, было незначительным при всех видах воздействий, вызывавших ЭШР. Таким образом, ЭШР можно рассматривать как результат не-

теплового действия ЭМП, не зависящего от частоты. Здесь мы опять встречаемся с теми же основными чертами биологического действия ЭМП, которые были отмечены в реакциях нервной системы животных на ЭМП.

Обнаружен и эффект перемещений парамеций в магнитном поле (Коган, Тихонова, 1965). Парамеций в капилляре диаметром 0,5 *мм* помещали в поле с напряженностью 700—800 *э*. При этом инфузории скапливались у южного полюса, а через 10 мин. после выключения поля восстанавливалось нормальное равномерное их распределение по капилляру. Характерно, что такое же скопление парамеций у соответствующего конца капилляра наблюдали и в том случае, когда инфузорий помещали в воду, предварительно подвергавшуюся (в капилляре) воздействию магнитного поля. В других исследованиях (Коган и др., 1966) обнаружено влияние магнитного поля на характер движения ресничных стилонихий: хаотичное их движение через 1—3 мин. воздействия переходит в упорядоченное — по кругу радиуса 600—800 *мк*; через 3—10 мин. это движение сильно замедляется и отмечаются остановки инфузорий с поворотом вокруг оси тела; через 10—20 мин. восстанавливается исходный характер движения, но оно оказывается замедленным.

Эффекты ЭМП, которые можно было бы отнести за счет воздействия на «центральные» системы регуляции, наблюдались в ряде исследований с бактериями.

В одной группе исследований наблюдали бактерицидные эффекты ЭМП, возникавшие только при высоких интенсивностях облучения, когда нагревание культуры бактерий было значительным. Так, например, если под действием импульсных полей в диапазоне от 65 *гц* до 600 *Мгц* культура кишечных палочек нагревалась до 55—60°, то жизнеспособность бактерий резко снижалась (Brown, Morrison, 1954, 1956); облучение вируса птичьей саркомы при частоте 3000 *Мгц* приводило к полной инактивации, но при одновременном охлаждении культуры эффекта не было (Epstein, Cook, 1951); не было обнаружено нетеплового эффекта и в опытах по воздействию на светящихся бактерий СВЧ-полями в диапазоне 2600—3000 *Мгц* (Barber, 1961).

В другой группе исследований (более многочисленных) наблюдали влияние ЭМП на бактерий, которое нельзя было отнести за счет теплового эффекта. Воздействие ЭМП с частотой 1400 *Мгц* на культуры стафилококков, кишечных палочек и палочек Коха в течение 1 мин., нагревавшее культуру до 34°, приводило к прекращению размножения бактерий, причем латентный период (от момента прекращения облучения) был значительно короче, чем при обычном нагревании (Seguin, Castelain, 1947a; Seguin, 1949a). Счастная (1955, 1957, 1958) воздействовала СВЧ-полями на культуры кишечной палочки, золотистого стафилококка и бактерий Фридлендера, поддерживая температуру взвеси в

пределах 37—42°, т. е. ниже летальной для этих бактерий. Рост колоний в облученных культурах был ниже, чем в культурах, подвергнутых нагреванию в водяной бане до тех же температур.

В опытах с ЭМП более низких частот были обнаружены бактерицидные эффекты: под действием ЭМП с частотой 20 *Мгц* (Nyrop, 1946) кишечные палочки погибали за 5—10 сек. при напряженности поля 205 *в/см*, когда среда нагревалась до 40°, тогда как при простом нагреве такой эффект наблюдался только при температуре 60° за 10 мин.; вирусы ящура полностью инактивировались при воздействии поля с напряженностью 260 *в/см* в течение 10 сек. и при 480 *в/см* — в течение 2,4 сек., при этом среда нагревалась не более чем до 37°; при простом нагревании такой эффект возникал только в течение 60 час. В опытах с ЭМП диапазона 12—300 *Мгц* (Fleming, 1944) бактерицидное действие проявлялось за 5 мин., хотя максимальная температура культур не превышала 37°.

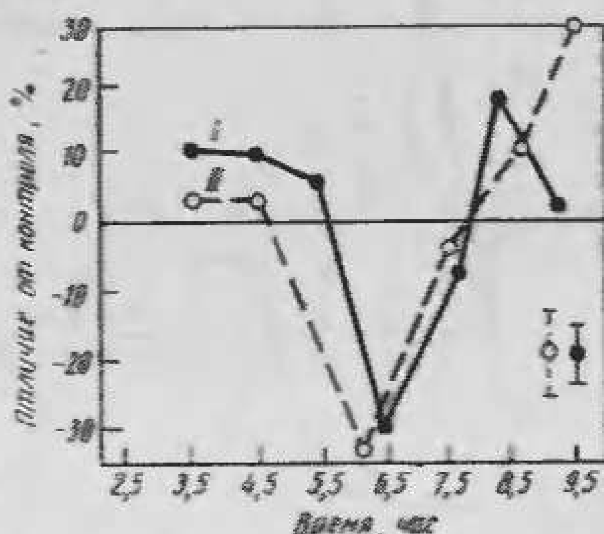


Рис. 60. Изменение роста культуры бактерий в неоднородном магнитном поле (15 000 *э*, 2300 *э/см*)

I — Seratia marc., II — Staphylococcus aur.

Интересные наблюдения сделаны при воздействии на бактерии неоднородного магнитного поля с напряженностью 15 000 *э* при градиенте 2300 *э/см* (Gerenser et al., 1962, 1964): в этих условиях рост культур относительно контроля изменялся двухфазно — сначала наблюдалось угнетение, а затем стимуляция (рис. 60). Подобный эффект в гомогенном магнитном поле 14 000 *э* был выражен значительно слабее (Hedrick, 1964).

К эффектам влияния ЭМП на центральные системы регуляции у одноклеточных можно отнести и наблюдавшиеся недавно (Кулин, Морозов, 1964, 1965; Кулин, 1965) изменения фагоцитарной активности парамеций (по степени поглощения частиц туши в пищевых вакуолях) под действием СВЧ-полей с частотой 2400 *Мгц*. Как видно из графиков, приведенных на рис. 61, в зависимости от интенсивности облучения отмечаются четыре фазы изменения фагоцитарной активности — стимуляция при сравнительно малых интенсивностях, угнетение при средних и затем повторение этих фаз при дальнейшем возрастании интенсивности. Такое же нагревание среды с парамециями инфракрасными лучами или в водяной бане приводило к двухфазному изменению фагоцитарной активности — стимуляции при температурах, оптимальных для этих инфузорий, и угнетению при более высоких температурах.

На основании описанных исследований влияния ЭМП на изолированные ткани, на клетки и одноклеточные организмы можно уже частично ответить на вопросы, поставленные в начале этой главы.

В реакции одноклеточных организмов на ЭМП проявляются те же общие закономерности, что и у более сложных организмов: характер реакции не зависит от частоты воздействующих ЭМП; зависимость от интенсивности имеет место в тех случаях, когда можно предполагать, что ЭМП оказывает непосредственное влияние на «центральные» системы внутриклеточной авторегуляции, и не отмечается, когда эффекты обусловлены воздействием ЭМП на периферические возбудимые структуры одноклеточных.

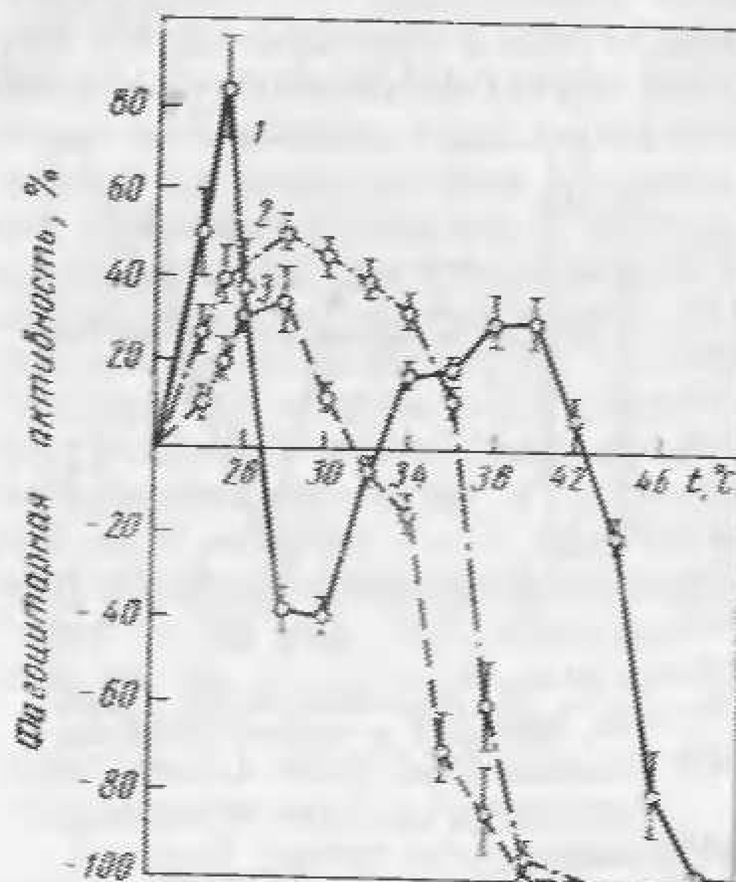


Рис. 61. Изменение фагоцитарной активности у парамеций под действием СВЧ-поля (*1*), инфракрасного облучения (*2*) и конвекционного нагрева (*3*)

Эффекты, наблюдавшиеся в опытах с изолированными тканями и культурами клеток, можно связать с непосредственным воздействием ЭМП на «центральную» (внутриклеточную) регуляцию. Однако в отличие от того, что наблюдалось при воздействии на ткани и клетки в целостном организме, в экспериментах in vitro отмечается зависимость характера и величины эффекта не только от интенсивности, но и от частоты ЭМП.

9.4. Эффекты ЭМП на молекулярном уровне in vitro

Влияние СВЧ-полей на структуры биологических молекул впервые было обнаружено в серии исследований Ван Эвердингена (Van Everdingen, 1938, 1940, 1941, 1946б, 1946в) с растворами гликогена, крахмала и экстрактов тканей животных в сероуглероде.

Облучение водного раствора гликогена СВЧ-полями с частотами 1875 и 3000 *Мгц* приводило к уменьшению угла вращения плоскости поляризации в этом оптически активном растворе. Величина этого эффекта и характер его развития по мере облуче-

ния зависели от частоты воздействующих ЭМП, концентрации и вязкости раствора. Частота 3000 *Мгц* оказалась значительно эффективнее, поэтому она и применялась в большинстве экспериментов. Зависимость эффекта от концентрации и вязкости раствора гликогена оказалась весьма резкой, как это иллюстрирует рис. 62.

Действие СВЧ-полей на структуру коллоидных растворов крахмала проявилось в значительном повышении скорости коагуляции (оцениваемой по выпадению осадка) при концентраци-

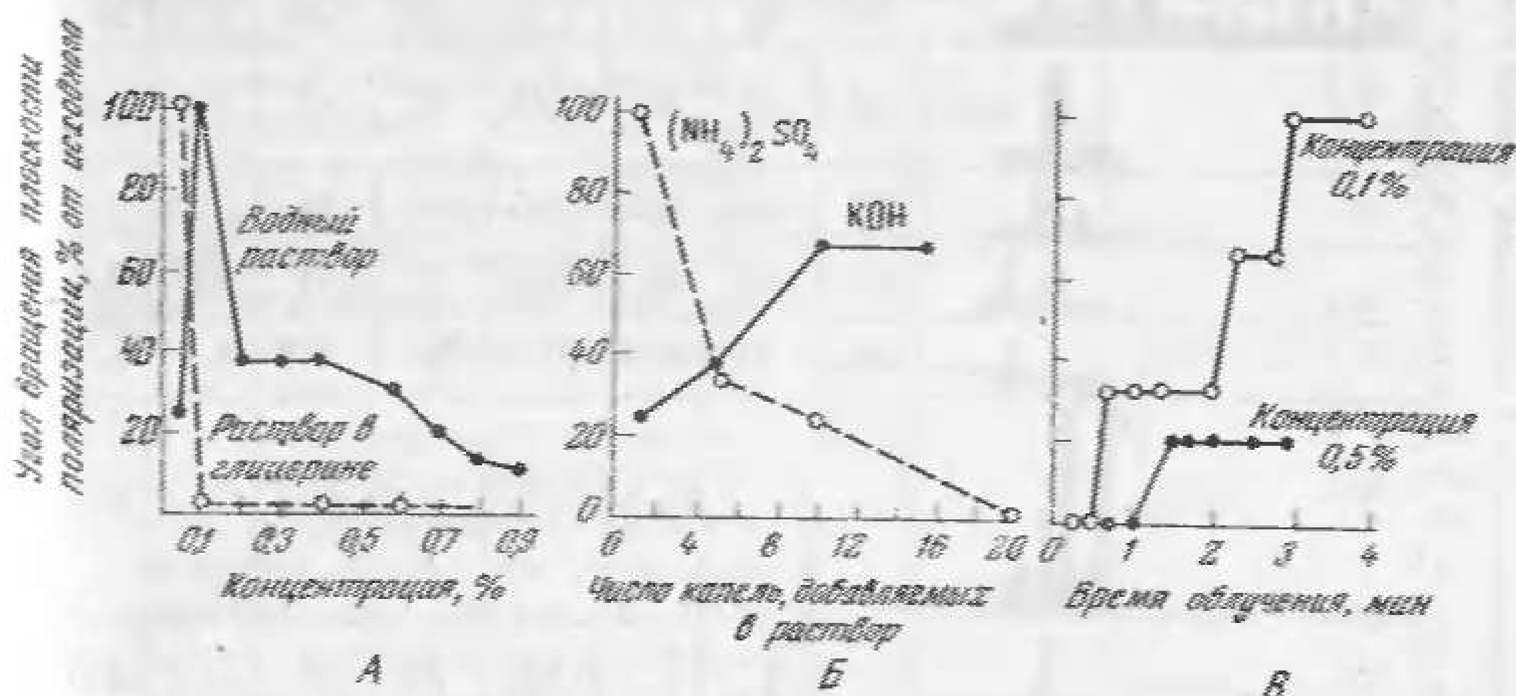
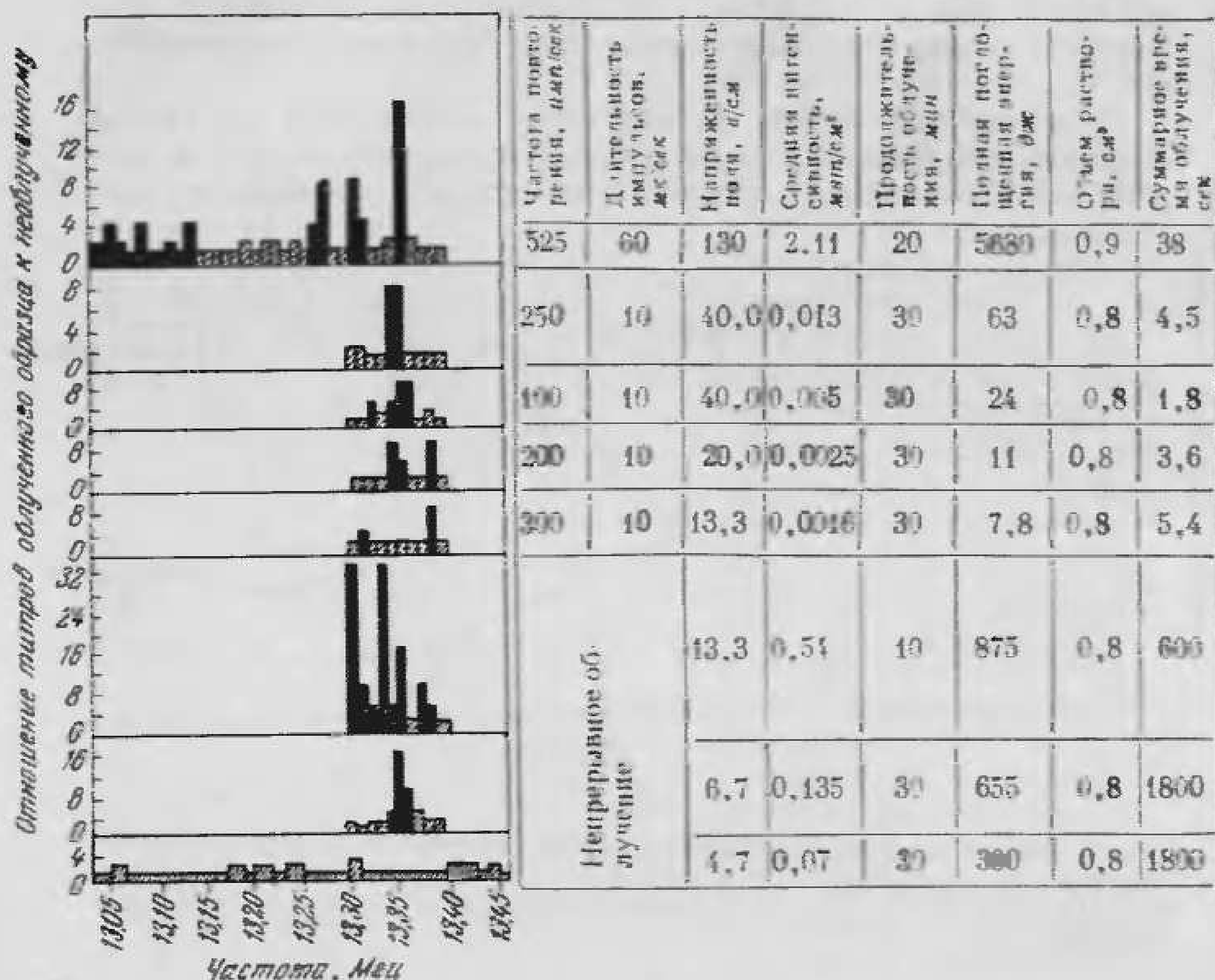


Рис. 62. Изменение угла вращения плоскости поляризации в растворе гликогена под действием СВЧ-полей в зависимости от концентрации раствора (*А*), от числа добавленных в раствор капель КОН и $(NH_4)_2SO_4$ (*Б*) и от времени облучения (*В*)

ях раствора 0,1—0,2%. Противоположное (по сравнению с растворами гликогена) влияние СВЧ-полей наблюдалось в опытах с оптически неактивными экстрактами кожных и жировых тканей (в сероуглероде): в результате облучения эти экстракты становились оптически активными (правовращающими).

Результаты экспериментов Ван Эвердингена стимулировали исследования влияния ЭМП на гамма-глобулины человека (Bach, 1961; 1961; Bach et al., 1961а, 1961б); в этих исследованиях были использованы методы, ранее применявшиеся для обнаружения влияния рентгеновых лучей на гамма-глобулины: о наличии эффекта судили по изменению электрофоретической диаграммы с однопиковой на двухпиковую и по результатам измерений антигенной реактивности гамма-глобулинов (путем титрования сывороткой крови кролика, иммунизированной к гамма-глобулинам крови человека). Раствор гамма-глобулинов человека (в 2,2%-ном физиологическом растворе) помещали в

камеру с плоскими электродами, к которым подводилось напряжение либо от импульсного генератора с частотным диапазоном 10—200 *Мгц* (с длительностями импульсов от 10 до 60 *мксек* и



Частота повторения, *имп/сек*	Длительность импульсов, *мксек*	Напряженность поля, *в/см*	Средняя интенсивность, *мвт/см²*	Продолжительность облучения, *мин*	Полная поглощенная энергия, *дж*	Объем раствора, *см³*	Суммарное время облучения, *сек*
525	60	130	2,11	20	5630	0,9	38
250	10	40,0	0,013	30	63	0,8	4,5
100	10	40,0	0,005	30	24	0,8	1,8
200	10	20,0	0,0025	30	11	0,8	3,6
300	10	13,3	0,0016	30	7,8	0,8	5,4
Непрерывное облучение		13,3	0,54	10	875	0,8	600
		6,7	0,135	30	655	0,8	1800
		4,7	0,07	30	390	0,8	1800

Рис. 63. Изменение активности гамма-глобулинов крови человека под действием УВЧ-полей определенных частот

частотой повторения импульсов 500—2000 *имп/сек*), либо от генератора непрерывных колебаний тех же частот. Время воздействия составляло 20—30 мин. Путем водяного охлаждения электродов в процессе воздействия ЭМП поддерживалась постоянная температура раствора в пределах 30—40° (контролируемая с помощью термопары).

В первой серии экспериментов исследовали диаграммы раствора после воздействия ЭМП с интенсивностью 60 *мвт/см²* по всему частотному диапазону, с интервалом 10 *Мгц*. Было обнаружено изменение электрофоретической диаграммы с однопиковой на двухпиковую при определенных частотах: 30, 60, 140, 180 и 200 *Мгц*. Более детальные исследования в «активном» диа-

пазоне в области 30 *Мгц* (с интервалом в 1 *Мгц*) показали наибольшую выраженность этого эффекта на частотах 29, 31 и 34 *Мгц*. Наиболее острая частотная зависимость была обнаружена в диапазоне 13—13,34 *Мгц*, где эффект возникал при частотах 13,1; 13,12; 13,2; 13,3; 13,32 *Мгц*.

Еще более интересные данные получены при оценке эффекта путем титрования облученного и необлученного растворов гамма-глобулинов сывороткой крови кролика (иммунизированного к гамма-глобулинам человека). Были обнаружены «эффективные» частоты, при которых облученные растворы показали значительно более высокие титры, чем необлученные или облученные при других частотах. Эффективные частоты либо совпадали с соответствующими частотами, выявленными в электрофоретических исследованиях, либо отличались от них на несколько десятков *кгц*. На рис. 63 приведены результаты этих исследований при различных условиях облучения, из которых очевидно, что эффекты проявляются при малых интенсивностях, причем главную роль играет не поглощенная в растворе энергия, а напряженность поля.

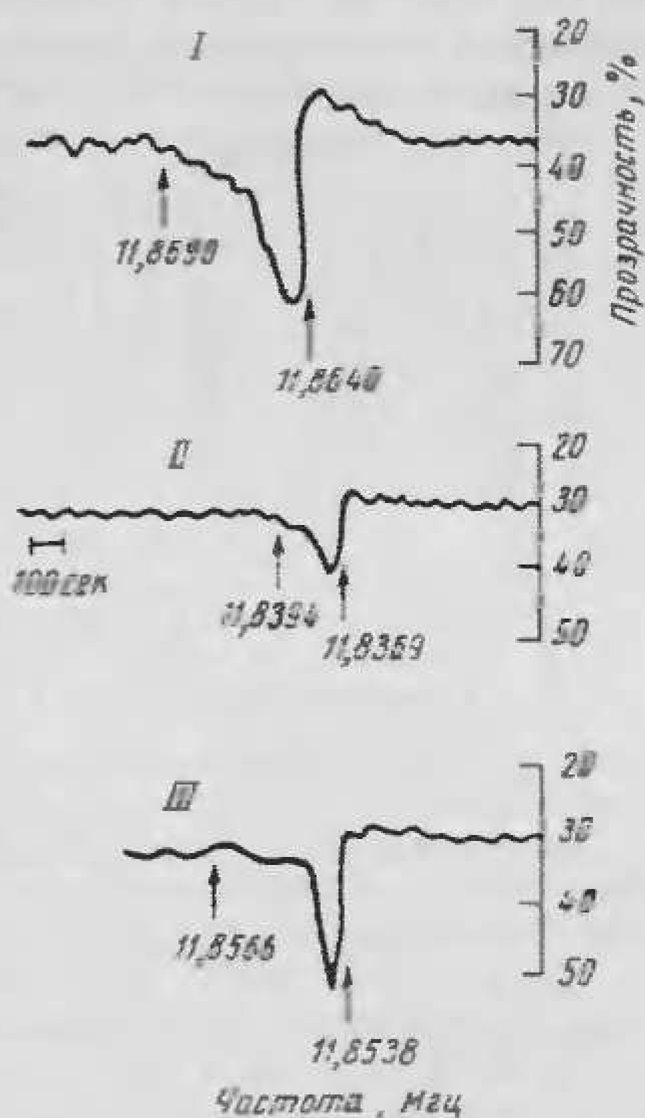


Рис. 64. Кривые изменения оптической плотности раствора альфа-амилазы под действием ЭМП 11,8 *Мгц*

I — при свипировании частоты со скоростью 5 *кгц* за 10 *мин*, *II* — 6,2 *кгц* за 10 *мин*, *III* — 5,7 *кгц* за 10 *мин*

В исследованиях in vitro обнаружено изменение активности ферментов под действием ЭМП разных частотных диапазонов, а также под действием постоянного магнитного и электрического полей.

На основе приведенной выше (§ 4.5) гипотезы о диполь-дипольных взаимодействиях между молекулами фермента и субстрата были поставлены эксперименты с ферментом лизоцимом (Vogeihut. 1960). Под действием СВЧ-полей при определенной резонансной частоте (в интервале 8200—12 400 *Мгц*) изменялась оптическая плотность раствора и скорость фермент-субстратной реакции.

Наблюдали также понижение активности фермента альфа-амилазы под действием УВЧ-полей строго определенных частот (Bach, 1965). Оценка ферментативной активности производилась по оптической плотности раствора. Оказалось, что эффект зависит от температуры и что наибольшее понижение активности происходит в интервале температур 27,7—28,2°. На рис. 64 приведены образцы автоматической регистрации изменения оптической плотности раствора при различных скоростях свипирования частоты около значения 11,8 *Мгц*. Сообщалось также об изменении

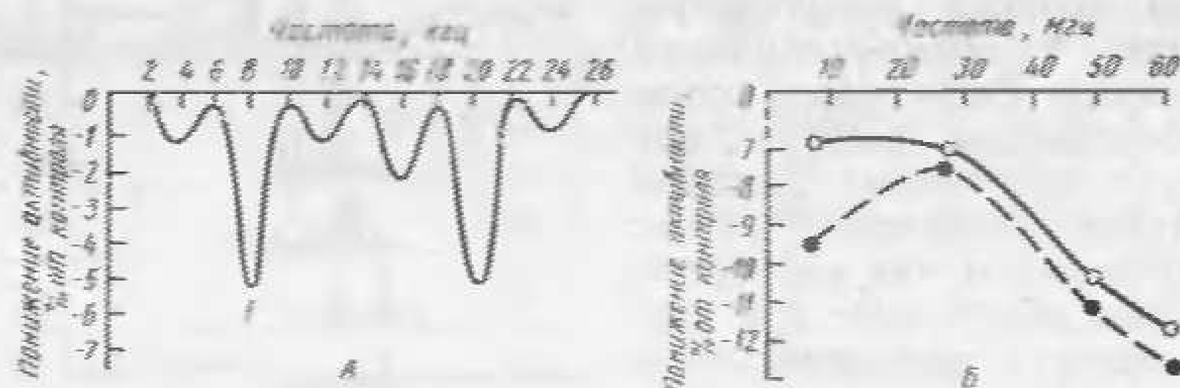


Рис. 65. Понижение активности каталазы (сплошные кривые) и пероксидазы (пунктирная) крови кролика in vitro под действием ЭМП в зависимости от частоты

А — в низкочастотном диапазоне. *Б* — в УВЧ-диапазоне

активности альфа-амилазы под действием ЭМП в радиочастотном диапазоне (Korteling et al., 1964).

Изменение активности ферментов каталазы и пероксидазы под действием УВЧ и низкочастотных ЭМП обнаружено (Чирков, 1964, 1965) в опытах с разбавленной ($^{1}/_{1000}$) кровью кролика. Воздействие ЭМП (50—72,5 *в/см*, 20 мин) вызывало понижение активности обоих ферментов, однако зависимость от частоты была различной для исследованных диапазонов. В низкочастотном она носила резонансный характер — понижение отмечалось только при частотах, кратных 4 *кгц*, и было особенно выраженным при 8 и 20 *кгц* (рис. 65, *А*), в УВЧ-диапазоне отмечалось плавное возрастание эффекта с увеличением частоты (рис. 65, *Б*).

Влияние магнитного поля на ферментативную активность исследовали (Cook et al., 1964) в опытах с растворами трипсина, сравнивая спектры поглощения этого вещества в ультрафиолетовой области до и после воздействия поля. Оказалось, что при напряженности 8000 *э* уменьшалось поглощение при 253,7 *ммк* (рис. 66). Наблюдалось и реактивирующее влияние магнитного поля 5000 *э* на трипсин, частично инактивированный в результате автолиза при pH 7—8 или под действием ингибитора из яичного белка и сои (Wiley et al., 1964). Однако такое поле не оказывало действия при инактивации трипсина диизопропилфторфосфатом и ультрафиолетовым облучением.

Активирующее действие магнитного поля с напряженностью 20 000 э обнаружено (Akoyunoglou, 1964) в опытах с ферментом карбоксидисмутазой: после 48—192 час. воздействия поля активность фермента повышалась на 14—20% (однако инактивация фермента ультрафиолетовым облучением не компенсировалась магнитным полем). Аналогичные эффекты наблюдались и под действием электростатического поля.

Недавно методом двойного лучепреломления была обнаружена заметная ориентация молекул ДНК в растворе, подвергнутом воздействию магнитного поля с напряженностью 6500 э (Мекшенков, 1965а, 1965б). Оказалось, что молекула ДНК (ее жесткий сегмент) ориентируется длинной осью перпендикулярно линиям магнитного поля.

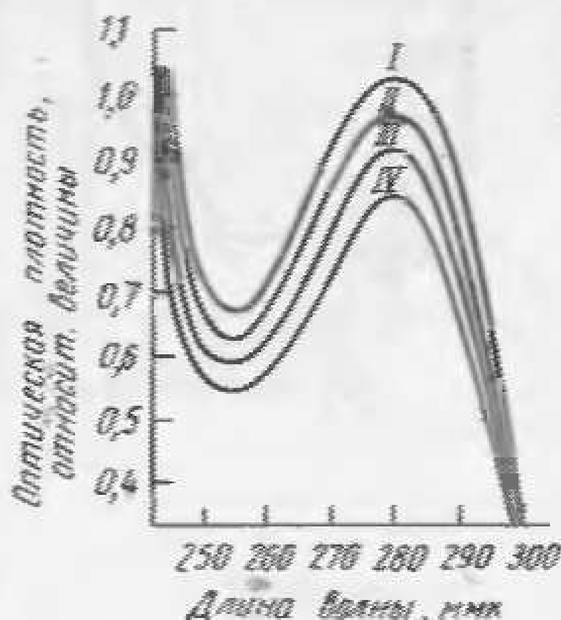


Рис. 66. Уменьшение поглощения ультрафиолетовых лучей в растворе трипсина под действием магнитного поля 8000 э

I — контроль, II — 2 часа в поле, III — 5 часов в поле, IV — 7 часов в поле

В свете изучения биологических эффектов магнитного поля на молекулярном уровне значительный интерес представляет влияние этого поля на физико-химические свойства воды. Уже давно было обнаружено, что вода, подвергнутая действию магнитного поля, обладает меньшей жесткостью и дает меньше накипи, чем обычная вода. Это явление нашло практическое применение при эксплуатации паровых котлов. Метод магнитной обработки весьма прост: вода по стеклянной трубке диаметром в несколько миллиметров протекает с довольно большой скоростью (0,3—0,6 *м/сек*) между полюсами магнита или нескольких магнитов, располагаемых последовательно.

В исследованиях, проведенных за последние годы, установлено, что и другие свойства воды изменяются под действием магнитного поля; найдены и зависимости этих эффектов от условий воздействия (Миненко и др., 1962). Влияние магнитного поля на количество отложений определялось путем упаривания воды (до 0,2 первоначального объема) и взвешиванием отложений (накипи) и взвешенных частиц (шлама). Оценка эффекта (A) производилась из соотношения

$$A = \frac{a_0 - a}{a} \cdot 100, \qquad (43)$$

где a_0 и a — вес накипи из необработанной и обработанной воды соответственно.

Исследования показали, что наблюдаемые эффекты (понижение жесткости и количества накипи) достигают максимума при двух «оптимальных» напряженностях поля — около 1500 и 4500 э.

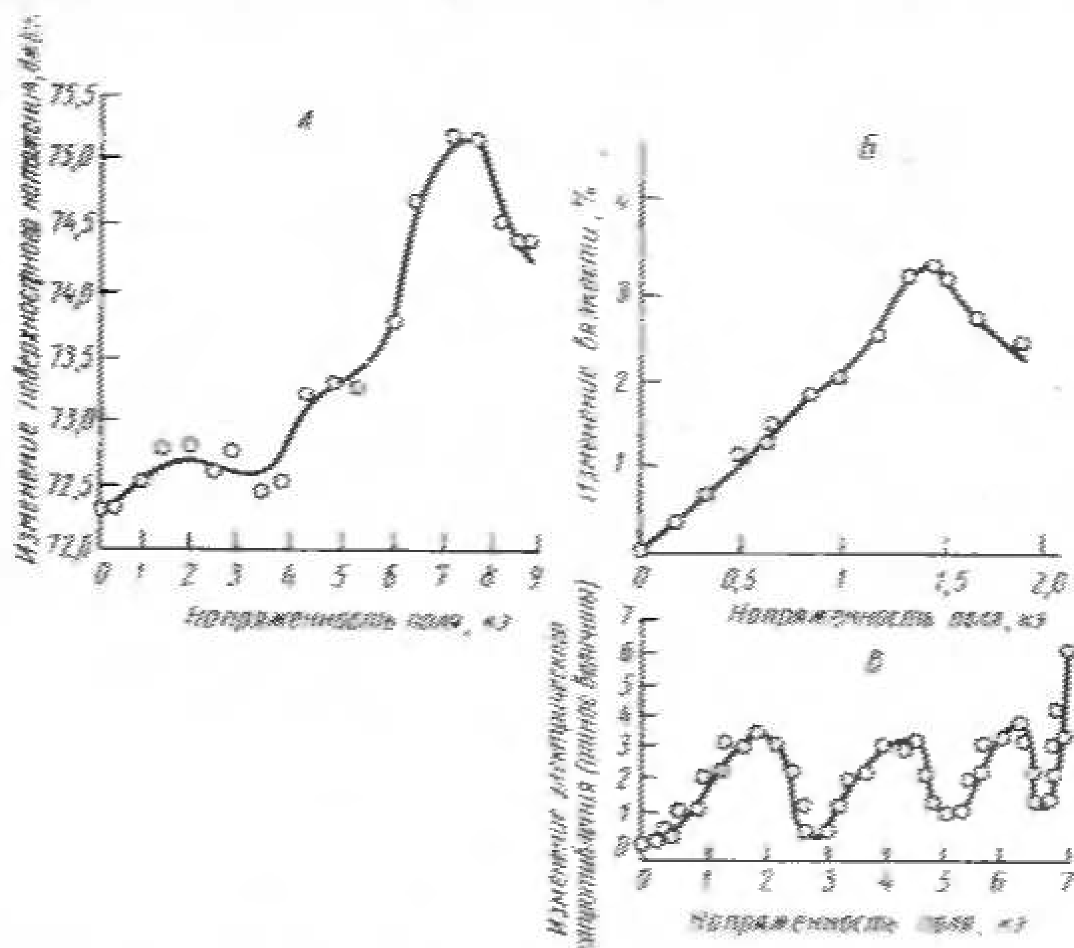


Рис. 67. Изменение физико-химических свойств воды под влиянием магнитного поля в зависимости от напряженности

А — поверхностное натяжение, *Б* — вязкость, *В* — электрическое сопротивление

Понижение количества накипи зависит также от скорости протекания воды в магнитном поле, достигая максимума в диапазоне скоростей 0,4—0,5 *м/сек*; при меньших и бо́льших скоростях эффект оказался более слабым.

Кристаллохимический анализ показал, что отложения и шлам в воде, обработанной магнитным полем, состоят из кристаллов ромбоэдрической и других форм, тогда как обычно преобладает игольчатая форма кристаллов. Важнейшей составной частью отложений и шлама является углекислый кальций, обычно выделяющийся в виде устойчиво кристаллической модификации кальцита; в обработанной воде было обнаружено некоторое количество неустойчивой модификации — арагонита.

Изменения физико-химических свойств воды под действием магнитного поля исследовались и в опытах с дистиллированной водой. Обнаружено возрастание поверхностного натяжения, вязкости и электропроводности воды, причем опять-таки наблю-

дались максимумы эффектов при одной, двух и даже нескольких «оптимальных» напряженностях поля (рис. 67).

Влияние магнитного поля на диэлектрическую проницаемость воды (Уманский, 1965) показано на рис. 68. Максимальный эффект опять отмечен при напряженности 1500 э.

Недавно было исследовано (Брунс и др., 1966) влияние магнитного поля на поглощение света в дистиллированной воде (условия обработки: трубка диаметром 6 *мм*, скорость течения 0,6 *м/сек*, 9 электромагнитов). Измерялось изменение поглощения света водой (в относительных единицах) через 10 мин. после ее обработки магнитным полем. Напряженность поля изменяли в пределах 0—1500 э и оценивали по величинам силы тока. Из графиков на рис. 69, *А* видно, что при всех использованных напряженностях поля максимум поглощения отмечается на одной и той же длине волны. А это означает, что магнитное поле не приводит к диссоциации или ассоциации молекул. Зависимость поглощения от напряженности поля (рис. 69, *Б*) носит двухоптимумный характер.

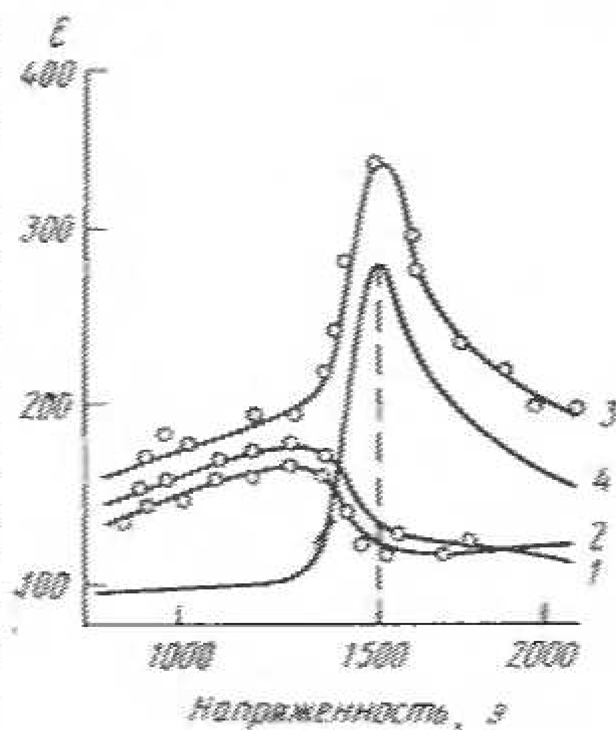


Рис. 68. Изменение диэлектрической проницаемости воды под влиянием магнитного поля

1 и *2* — неподвижная дистиллированная и водопроводная вода соответственно; *3* — подвижная дистиллированная вода; *4* — разность кривых *3* и *1*

С точки зрения биологического действия магнитного поля значительный интерес представляют экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что вода, обработанная магнитным полем, оказывает влияние на поведение и жизнедеятельность живых организмов.

Мы уже упоминали, что в капилляре с водой, предварительно помещенном на некоторое время в магнитное поле, парамеции скапливаются у того конца, который был обращен к южному магнитному полюсу (Коган и Тихонова, 1965).

Опыты с мышами (Глебов и др., 1965) показали, что при введении животным внутрибрюшинно (1 *мл* на 20 *г* веса) воды, обработанной магнитным полем с напряженностью 1000—1500 э, в 63% случаев отмечалось повышение диуреза по сравнению с животными, которым вводили обычную воду. У мышей, которым вшивали в мочевой пузырь почечные камни человека и затем ежедневно давали по 1 *мл* магнитно обработанной воды (в молоке), через 30 дней количество кристаллов, образующихся во-

круг камней, было примерно в 2,5 раза меньше, чем в контроле ($P = 0{,}015$). У мышей, получавших утром магнитно обработанную воду, на 20% увеличивались надпочечники и в такой же степени уменьшалась селезенка ($P < 0{,}05$). В опытах с крысами (Дардымов и др., 1966) установлено влияние воды, обработанной магнитным полем, на устойчивость эритроцитов к щелочному

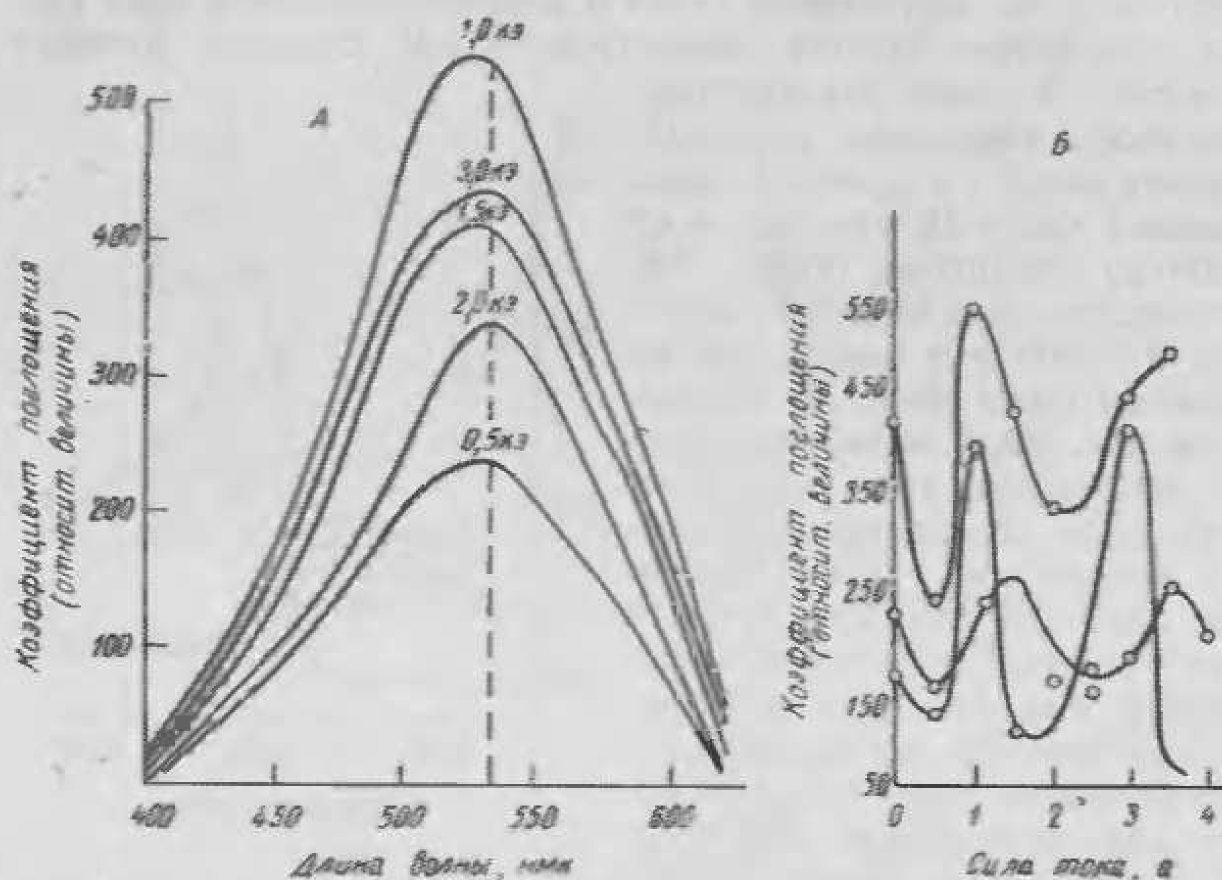


Рис. 69. Поглощение света в дистиллированной воде, протекающей в магнитном поле

А — спектры поглощения при разных напряженностях поля (указаны на кривых). *Б* — зависимость поглощения от силы тока, т. е. напряженности поля (три разных опыта)

гемолизу; у взрослых животных, получавших такую воду в течение месяца, наблюдалось ускорение гемолиза на 20—40% по сравнению с контролем.

Обнаружено влияние дистиллированной воды, обработанной магнитным полем (1000—1500 *э*), и на растения (Дардымов и др., 1965). Поливка высаженных семян подсолнуха, кукурузы и сои такой водой (по 100 *мл* на растение в день) приводила к ускоренному росту (табл. 15). Во второй серии экспериментов сравнивали влияние дистиллированной и водопроводной воды, обработанной магнитным полем, на развитие сои. И в том и другом случае отмечалось достоверное ($P < 0{,}05$ и $< 0{,}001$) ускорение развития растений по сравнению с контролем, причем этот эффект был более выражен для водопроводной воды.

Получены данные и о влиянии ЭМП высоких частот на свой-

Таблица 15

Влияние дистиллированной воды, обработанной магнитным полем 1000 э, на развитие некоторых растений к 12-му дню после высева

Растение	Экспериментальная группа	Высота растения, мм		Толщина стебля, мм	
Подсолнечник	Контроль	38,4±0,58	P<0,001	8,0±0,0	P>0,05
	Опыт	46,7±0,29		9,28±0,93	
Кукуруза	Контроль	22,0±16,8	P>0,05	2,3±0,21	P<0,01
	Опыт	41,2±1,12		6,0±0,58	
Соя	Контроль	53,35±11,27	P<0,01	4,0±0,47	P>0,05
	Опыт	74,5±11,27		4,15±0,11	

ства воды (Плаксин и др., 1966): воздействие полей с частотами от 100 *кгц* до 8 *Мгц* в течение 30 мин. повышало оптическую плотность воды в диапазоне 380—691 *ммк*.

У морских свинок и мышей, получавших только воду, обработанную ЭМП с частотой 10 *кгц* (Valîre et al., 1964), наблюдались колебания в весе в сторону понижения по сравнению с животными, получавшими обычную воду. Подобный эффект отмечен и у второго поколения животных, даже в тех случаях, когда эти потомки получали обычную воду. Авторы подчеркивают, что влияние обработанной воды было особенно выраженным в периоды солнечной активности.

Сопоставляя эффекты ЭМП на молекулярном уровне in vitro и в целостном организме, можно видеть, что они оказываются существенно различными. Если в организме характер и выраженность изменений на молекулярном уровне мало зависят от частоты, то в опытах in vitro наблюдается частотная зависимость подобных эффектов, которая часто носит резонансный характер. Влияние ЭМП на биохимическую активность макромолекул in vitro может быть и противоположным тому, какое наблюдается в целостном организме. Имеется различие и в зависимости эффектов от интенсивности ЭМП; двухоптимумная и двухфазная зависимость их в целостном организме не наблюдается в опытах in vitro; исключение составляют эффекты действия магнитного поля на воду, где такая зависимость имеет место.

Все это показывает, сколь рискованно судить о механизме действия ЭМП на биохимические процессы в организме на основе исследований такого действия в опытах in vitro.

Глава 10

О МЕХАНИЗМАХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, НАБЛЮДАЮЩИХСЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Под механизмом биологического действия того или иного фактора обычно понимают первопричину реакции биологического объекта на воздействие. При этом считают, что выявить механизм биологического действия — значит установить причинно-следственную зависимость между воздействием и реакцией, указать на системы или структуры, участвующие в этой реакции, вскрыть процессы, обусловливающие реакцию.

Часто утверждают, что механизм действия какого-либо фактора на организм можно считать по-настоящему установленным только в том случае, если выявлены связанные с этим действием физико-химические процессы на молекулярном уровне, которые в конечном счете и обусловливают реакцию организма. В ряде случаев действительно удается найти такие *физико-химические механизмы*, исследуя действие данного фактора на изолированные органы и клетки, на молекулярные процессы in vitro.

Однако большей частью изменения в организме, которые можно было бы связать с его реакцией на внешнее воздействие, удается обнаружить только на макроскопическом уровне, в системах достаточно сложных, а молекулярные процессы, лежащие в основе этих изменений, остаются не выясненными. С другой стороны, в тех случаях, когда эффекты на молекулярном уровне обнаруживаются, они вовсе не обязательно являются первопричиной изменений, происходящих на более высоких уровнях организации, так как нередко такие эффекты сами являются следствием изменений в сложных системах. Мы уже говорили о том, что попытки выявить механизм действия внешнего фактора на организм, исходя из данных о влиянии этого фактора на изолированные органы и ткани, на молекулярные процессы in vitro, зачастую оказываются несостоятельными, ибо способность определенным образом реагировать на воздействие может быть присуща только системе соответствующего уровня сложности, а составляющие систему компоненты могут либо иначе реагировать на это воздействие, либо вообще на него не реагировать.

Все это отражает специфические особенности живых организмов — их иерархическую организацию. Как мы указывали во введения, в иерархии систем организма каждая ступень сложности обладает своими специфическими свойствами, определяющими ее взаимодействие с другими системами иерархии, ее реакции на внешние воздействия; эти свойства трудно, а часто и

невозможно предсказать на основе изучения систем более низкой степени организации или составляющих рассматриваемую систему элементов. Поэтому изучение механизмов реакций организма на внешние воздействия следует проводить, отправляясь от уровня целостного организма и далее последовательно выясняя, до какого наименее сложного уровня организации можно еще проследить те изменения в организме, которые в конечном счете обусловливают его общую реакцию.

Первый этап такого изучения механизмов — выяснение качественной и количественной стороны причинно-следственных зависимостей между внешним воздействием и реакцией на него организма в целом, его систем различной степени сложности. Чаще всего такие зависимости удается описать только феноменологически. Поэтому в научной литературе нередко встречаются такие термины, как *физиологические механизмы действия* и *биофизические механизмы действия*. Эти понятия выражают зависимость между «входом», т. е. воздействием, и «выходом», т. е. реакцией, в системах органов, в отдельных органах, тканях и клетках организма. Например, к физиологическим механизмам действия относят ваготонические или симпатикотонические реакции, возбуждение или торможение в центральной нервной системе, изменение возбудимости нервных и мышечных тканей и т. д; к биофизическим — изменение электрических параметров тканей или характера происходящих в них биоэлектрических процессов, изменение проницаемости клеточных мембран и т. д.

Второй этап изучения механизмов — моделирование систем и процессов, участвующих в реакции организма на внешнее воздействие. Под моделью биологической системы или процесса обычно понимают мысленное отображение структуры и связей изучаемого явления или процесса. Как мы указывали, моделирование в биологии редко удается провести, исходя только из явлений и закономерностей, присущих неживой природе: более правомерными чаще оказываются аналогии со структурными и функциональными схемами, построенными на основе технических «организованных» систем. Конечно, всякое моделирование связано с неизбежным упрощением изучаемого явления и не дает еще однозначного ответа на вопрос о причинно-следственных зависимостях, его обусловливающих. Однако, отправляясь от гипотетической схемы, отражающей основные феноменологические закономерности биологического явления, можно далее методом последовательных приближений с проверкой по косвенным экспериментальным данным получить более точные представления об изучаемом явлении и, в частности, о механизме биологического действия внешнего фактора.

Наконец, в ряде случаев, когда мы располагаем данными о физико-химических механизмах, связанных с изучаемой реакцией биологического объекта на внешние воздействия, можно до-

вести изучение механизма и до рассмотрения соответствующих процессов на молекулярном уровне.

Такой общеметодический подход представляется правомерным по отношению к изучению механизмов биологических эффектов ЭМП. Как мы видели, характер реакции организма животных на ЭМП зависит (при одинаковых условиях воздействия) от того, какие именно системы организма непосредственно подвергались воздействию, от того, находились ли эти системы в целостном организме или были изолированы. В ряде случаев эффекты, наблюдаемые на молекулярном уровне в целостном организме, нельзя было обнаружить в опытах in vitro.

10.1. Общие соображения о моделировании механизмов биологических эффектов ЭМП

Рассмотрим кратко выявленные в экспериментальных исследованиях биологических эффектов ЭМП основные их закономерности, на основе которых можно было бы подойти к моделированию механизмов этих эффектов.

Прежде всего отметим, что в большинстве случаев под действием ЭМП возникали те или иные *нарушения* регуляции физиологических процессов, причем особенно резко они были выражены в процессе эмбрионального развития и во время роста, т. е. в тот период, когда защитные механизмы либо еще не существуют, либо полностью не сформированы. Рассмотрение характера этих нарушений приводит к заключению, что в основе их лежит воздействие ЭМП на электромагнитные процессы, связанные с регуляцией физиологических функций.

В большинстве экспериментальных исследований выбор параметров ЭМП определялся не столько биологическими соображениями, сколько тем, какой генератор имелся в распоряжении экспериментатора; только в некоторых случаях параметры ЭМП выбирали, исходя из предполагаемых соответствующих параметров биологических систем. Поэтому чаще всего параметры воздействующих ЭМП были неадекватны биологическим системам, а такие воздействия можно рассматривать как *помехи*. Этот термин мы применяем в соответствии с определением Зальцберга (1966): «Помеха — это такой нежелательный в данной системе сигнал, который в другой системе является полезным или когерентен с полезным сигналом в другой системе».

Очевидно, что в любом живом организме существует надежная защита от внешних естественных и искусственных электромагнитных помех (или *шумов* — сигналов, не когерентных ни с одним полезным сигналом системы), как и от других неадекватных внешних воздействий. По-видимому, именно с действием такой многоступенчатой защиты в организме и связана экспериментально обнаруженная двухоптимумная (или многооптимумная),

а также двухфазная зависимость биологических эффектов ЭМП от их интенсивности. С этой защитной системой связан, очевидно, и тот факт, что нарушения, возникающие под действием ЭМП, часто однотипны при различных частотах.

Представляются вероятными две схемы защитных систем — пассивная и активная. Первая — быстро реагирующая периферическая система — может действовать при помощи соответствующих частотных и амплитудных фильтров и корреляторов; каждая последующая ступень такой защитной системы вступает в действие при некотором интервале параметров электромагнитных помех (главным параметром служит интенсивность). Такое действие пассивной защиты могло бы объяснить двухоптимумную (или многооптимумную) зависимость нарушений от интенсивности воздействующих ЭМП. Если же пассивная система защиты становится недостаточной, то в действие вступает активная защита: быстро действующая периферическая система сигнализирует медленно реагирующей центральной (регулирующей физиологические функции) о приходящих помехах, и последняя активно защищается, понижая свою чувствительность к восприятию помех. Другая — более высокая ступень активной защиты — центральная система, осуществляющая регулирование физиологических процессов, сдвигает их в таком направлении, чтобы скомпенсировать нежелательное внешнее воздействие на организм.

Такой процесс мог бы объяснить возникновение противоположно направленных физиологических изменений под действием ЭМП малых и больших интенсивностей, т. е. двухфазную зависимость биологических эффектов ЭМП от их интенсивности.

Правомерность таких модельных схем подтверждается экспериментальными данными о реакциях организма животных при воздействии ЭМП на центральную или периферическую нервную систему или при общем воздействии, затрагивающем обе эти системы (см. заключение в конце главы 7). Не противоречат этим схемам и результаты экспериментов с животными, не обладающими нервной системой, например с одноклеточными, у которых имеется, однако, «центральная» система внутриклеточной регуляции и периферическая — в клеточной оболочке.

Причину кумуляции действия ЭМП следует искать, по-видимому, в способности биологических систем накапливать как «полезную» информацию, так и помехи или шумы. В рассмотренных проявлениях кумулятивного действия ЭМП мы сталкивались как с непосредственно обнаруживаемыми изменениями биологических структур, так и с эффектами, возникающими как бы в результате накопления функциональных изменений.

Перейдем теперь к обсуждению механизмов биологических эффектов ЭМП в тех случаях, когда их анализ можно довести

до процессов на молекулярном уровне, а также когда эффекты явно обусловлены влиянием ЭМП на макромолекулы, на внеклеточную и внутриклеточную среды и т. д. Некоторые соображения по этому поводу, применительно к различным типам биологических эффектов ЭМП, мы уж высказывали ранее (Пресман, 1963д, 1965а, 1966а, 1966б, 1967а).

10.2. О механизмах действия ЭМП на нейро-гуморальную регуляцию

Как уже говорилось, экспериментальные данные указывают на то, что причиной нарушения регуляции физиологических функций у животных под действием ЭМП является непосредственное влияние ЭМП на различные отделы нервной системы. Сопоставление наблюдаемых эффектов приводит к мысли о том, что изменения в сторону повышения возбудимости центральной нервной системы возникают рефлекторно за счет непосредственного воздействия ЭМП на периферические отделы, а реакции тормозного характера чаще связаны с прямым воздействием на структуры головного и спинного мозга. Есть основания предполагать, что наиболее чувствительны к ЭМП кора головного мозга и структуры промежуточного мозга, особенно гипоталамус. Очевидно, что действие ЭМП на нервную систему обусловливается либо раздражением нервных клеток, либо изменением параметров их функционального состояния — возбудимости, амплитуды биопотенциалов, скорости проведения возбуждения и т. д.

Какие же физико-химические процессы могут лежать в основе такого влияния ЭМП на нервные клетки? Для ответа на этот вопрос пока нет достаточных теоретических и экспериментальных оснований. Ведь мы еще по существу очень мало знаем о физико-химической природе самого нервного возбуждения, хотя количество экспериментальных данных о связанных с ним физико-химических процессах весьма велико. Вместе с тем некоторые соображения о возможных физико-химических механизмах действия ЭМП на нервные клетки можно обсудить на основе рассмотрения основных закономерностей этого действия и на базе современных представлений о процессах, происходящих при электрическом раздражении нерва.

Если исходить из экспериментально установленной широкополосной (по частоте) чувствительности нервных клеток к ЭМП, то представляются вероятными (Пресман, 1962б, 1963д) следующие механизмы:

1. ЭМП могут детектироваться в мембране нервной клетки (Коль, 1960), а следовательно, при различных частотах будет действовать постоянная составляющая выпрямленного тока, вызывая раздражение клеток или изменение их возбудимости.

2. ЭМП могут влиять на подвижность ионов, участвующих в процессе возбуждения нерва. Колебания ионов с частотой воздействующего поля в той или иной степени скажутся на их способности проникать через мембрану нервной клетки, а следовательно, и на ее способности к возбуждению.

3. По современным представлениям (Самойлов, 1957), тепловое и особенно трансляционное движение молекул воды в присутствии ионов натрия затруднено по сравнению с этими процессами в чистой воде (положительная гидратация), тогда как в присутствии ионов калия молекулы воды более подвижны, чем в чистой воде (отрицательная гидратация). Трансляционное движение самих ионов связано с обменом ближайших к ним молекул воды[1]. В связи с этим можно предполагать, что действие ЭМП (достаточно высоких частот) на молекулы воды, окружающие ионы натрия и калия, будет различным, а поэтому неодинаковым будет и соответствующее изменение подвижности этих ионов. Это в свою очередь может привести к изменению калий-натриевого градиента между клеткой и внеклеточной средой, а следовательно, к возбуждению или изменению возбудимости нервной клетки.

4. Влияние ЭМП на проницаемость мембраны нервной клетки может объясняться также тем, что поле вызывает колебания молекул воды, гидратирующих белковые молекулы поверхностного слоя мембраны. Это должно приводить либо к возбуждению нервной клетки, либо к изменению ее возбудимости.

5. Не исключена возможность влияния ЭМП на так называемую спонтанную активность рецепторов; природа ее еще не выяснена, но очевидно, что она связана с тепловыми возмущениями ионных процессов в мембране. Колебания ионов с частотой воздействующего поля могут вносить некоторый «порядок» в эти хаотические процессы, а следовательно, изменять и характер, и интенсивность спонтанной активности.

6. Кумулятивные эффекты ЭМП на нейро-гуморальную систему следует, по-видимому, связывать со способностью различных элементов этой системы (как и других биологических систем) накапливать информацию или помехи.

К механизмам действия ЭМП на регуляцию физиологических процессов в целостном организме можно подойти и с других позиций, предполагая влияние ЭМП на внутреннюю электромагнитную регуляцию, действующую в различных частотных диапазонах. В свете этого предположения ЭМП могут нарушать функции того или иного звена такой регуляции, повышая его активность в тех случаях, когда частота воздействующих ЭМП близка к собственной частоте данной структуры, или понижая ее, когда

---

[1] Эта концепция может оказаться плодотворной для выяснения механизма различной проницаемости калия и натрия в мембране нервного волокна.

структуре навязываются вынужденные, не свойственные ей колебания. Такой подход к механизмам биологического действия ЭМП будет обсужден более подробно в третьей части книги, при рассмотрении систем электромагнитной регуляции в живых организмах.

10.3. О механизмах действия ЭМП на процессы размножения и развития организмов

Экспериментальные данные, рассмотренные в главе 8, показывают, что ЭМП особенно сильно влияют на процессы размножения и эмбрионального развития, на рост молодых организмов. И это закономерно, так как любые нарушения регуляции биологических процессов под действием ЭМП (независимо от механизмов, обусловливающих эти нарушения) должны возникать скорее всего именно на стадиях формирования организма, когда защитные механизмы или еще не развиты, или не достигли должного совершенства.

Как мы видели, влияние ЭМП на процессы размножения в ряде случаев можно рассматривать как результат нарушения нейро-гуморальной регуляции в организме, приводящего к изменению функций эндокринной системы, клеточного обмена, ферментативных процессов. Однако некоторые эффекты скорее можно отнести за счет непосредственного воздействия ЭМП на функции зародышевых клеток или за счет необратимых изменений в этих клетках под действием ЭМП. Здесь мы уже сталкиваемся с влиянием ЭМП на физико-химические процессы внутриклеточной регуляции, с нарушением внутриклеточных структур. И опыты in vitro подтверждают реальность такого непосредственного воздействия ЭМП на интимные процессы в клетках.

С влиянием ЭМП на внутриклеточные процессы следует, очевидно, связывать и генетические эффекты, которые могут быть обусловлены как нарушениями биохимических процессов в цитоплазме, так и непосредственным воздействием ЭМП на ДНК. Возможный механизм такого рода воздействия стоит обсудить.

Недавно было показано, что взаимодействие между гомологичными участками хромосом происходит, по-видимому, за счет электрического поля, возникающего в связи с флуктуациями плотности электрического заряда (Зырянов, 1961). Между тем, как было уже упомянуто, теоретически и экспериментально показана возможность существования взаимодействия между макромолекулами за счет ЭМП радиочастотного диапазона в связи с диполь-дипольными переходами, обусловленными флуктуациями распределения заряда в молекулах (Vogelhut, 1960). Если такого рода диполь-дипольные переходы существуют и в молекулах ДНК, то можно ожидать резонансного воздействия ЭМП соответствующих частот на эти молекулы, а также нарушения

взаимодействий между такими молекулами (или между ними и молекулами РНК) под действием ЭМП.

К механизмам мутагенного действия магнитного поля можно было бы подойти на основе теоретически возможной (Дорфман, 1962) ориентации молекул ДНК в этом поле. А так как магнитное поле пронизывает все тело животного, то возможным становится непосредственное воздействие этого поля на макромолекулярные процессы в целостном организме, что могло бы послужить причиной и нарушения процессов размножения, и угнетения роста у животных, находящихся в магнитном поле.

С непосредственным воздействием на молекулярные процессы можно было бы связать и эффекты влияния СВЧ-полей на развитие куриного эмбриона, на деятельность сердца этого эмбриона. Наконец, влияние магнитного поля на развитие растений также, по-видимому, обусловливается его ориентирующим действием на макромолекулы.

Наиболее полную информацию для выяснения механизмов непосредственного действия ЭМП на макромолекулы можно, конечно, получить из анализа эффектов ЭМП на клеточном и молекулярном уровне, обнаруженных in vitro.

10.4. О механизмах действия ЭМП на одноклеточные организмы и культуры клеток

Как уже указывалось, эффекты действия ЭМП на одноклеточные организмы можно разделить на два типа. С одной стороны, это ориентационные и двигательные реакции одноклеточных, которые с достаточным основанием можно отнести за счет воздействия ЭМП на периферические возбудимые структуры; с другой — реакции, по-видимому, связанные с воздействием ЭМП на процессы внутриклеточной регуляции. Пока имеются экспериментальные основания только для обсуждения «периферического» действия ЭМП.

Возможность детектирования ЭМП в клеточной оболочке парамеции подтвердилась (Пресман, 1963д; Зубкова, 1967а) в сравнительных экспериментах по раздражению этих инфузорий импульсами переменного тока, выпрямленного (однополупериодно) переменного тока и сериями импульсов постоянного тока такой же частоты и скважности. Амплитуда порогового напряжения, при котором возникала двигательная реакция, для всех этих режимов оказалась одинаковой.

Была сделана попытка (Зубкова, 1967а, 1967б) подойти к механизму действия ЭМП на возбудимую структуру парамеций с позиций энзимо-химической теории нервного возбуждения. Согласно этой теории, инициатором процесса возбуждения является реакция ацетилхолина с белком-рецептором, вызывающая возрастание проницаемости мембраны и «запускающая» процессы,

приводящие к быстрому перемещению ионов натрия и калия. Комплекс ацетилхолин — рецептор находится в динамическом равновесии со свободными компонентами этого комплекса, причем свободный ацетилхолин быстро инактивируется ферментом холинэстеразой. Приложение этой теории к парамециям вполне правомерно, так как в пеликуле (наружной оболочке) у них давно уже обнаружена система ацетилхолин — холинэстераза и доказано участие этой системы в процессе возбуждения.

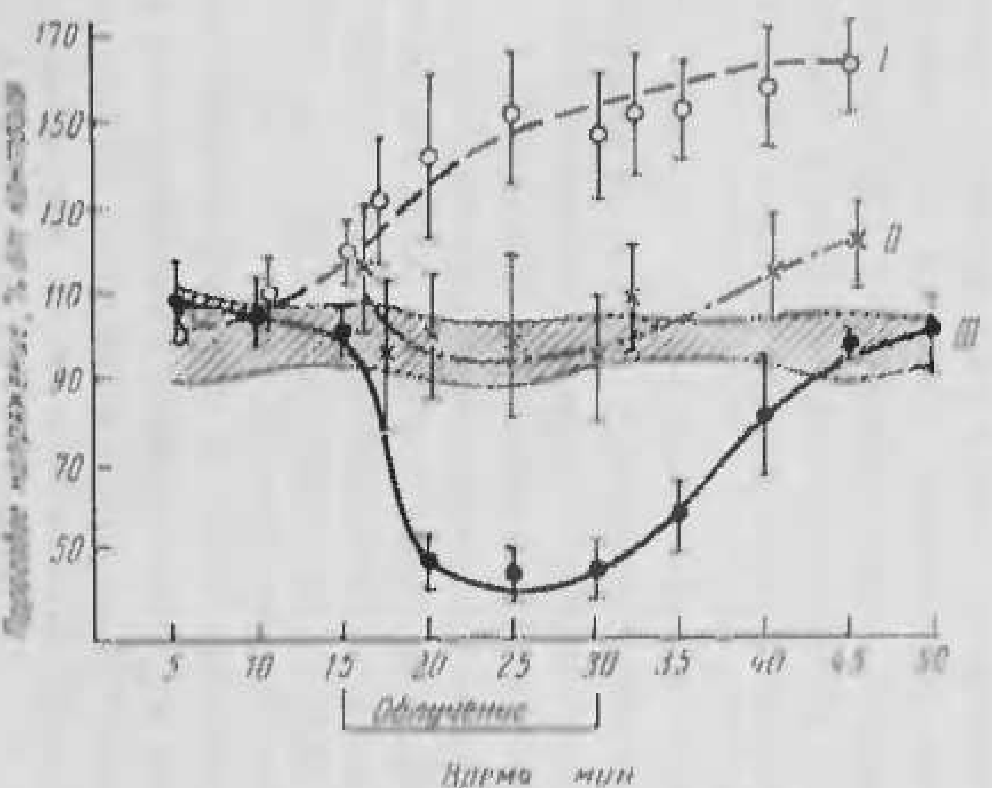
Зубкова измеряла пороговое напряжение переменного тока, при котором наступает двигательная реакция (ЭШР) у парамеций, при следующих условиях: а) в присутствии в среде прозерина, блокирующего действие холинэстеразы и понижающего возбудимость парамеций, или цистеина, действующего на сульфгидрильные группы белка и также понижающего возбудимость; б) в присутствии тех же веществ и при воздействии СВЧ-поля, повышающего возбудимость; в) только при действии СВЧ-поля на парамеций в обычной среде. Графики на рис. 70 показывают, что СВЧ-поле компенсирует эффект и прозерина, и цистеина, а это возможно в первом случае за счет восстановления нарушенного динамического равновесия между свободным ацетилхолином и холинэстеразой и во втором — за счет ингибирования окисления сульфгидрильных групп. Таким образом, СВЧ-поля, по-видимому, действуют на оба звена пусковой реакции процесса возбуждения.

При обсуждении действия ЭМП на культуры клеток мы сталкивались с частотной зависимостью, которую, по-видимому, следует связывать с непосредственным воздействием ЭМП на субклеточные структуры или на макромолекулы, реагирующие на резонансные частоты.

Недавно предложена гипотеза о механизме торможения роста клеток под действием магнитного поля (Liboff, 1965). Предполагается, что активный транспорт метаболитов (в ионной форме) может быть обеспечен электростатическим полем равномерно заряженного ядра или цитоплазмы клетки. В магнитном поле коэффициент диффузии ионов уменьшается. Если принять, что клетка имеет форму цилиндра, а электрическое поле создается зарядами цитоплазмы, то под влиянием магнитного поля, параллельного оси клетки, скорость перемещения ионов должна будет уменьшаться. Ощутимого эффекта можно ожидать при напряженности поля порядка 10^5 э.

10.5. О механизмах действия ЭМП на молекулярном уровне

Мы уже приводили (§ 4.5) теоретические соображения, касающиеся возможных механизмов действия ЭМП на молекулярном уровне. В экспериментальных исследованиях in vitro наблю-



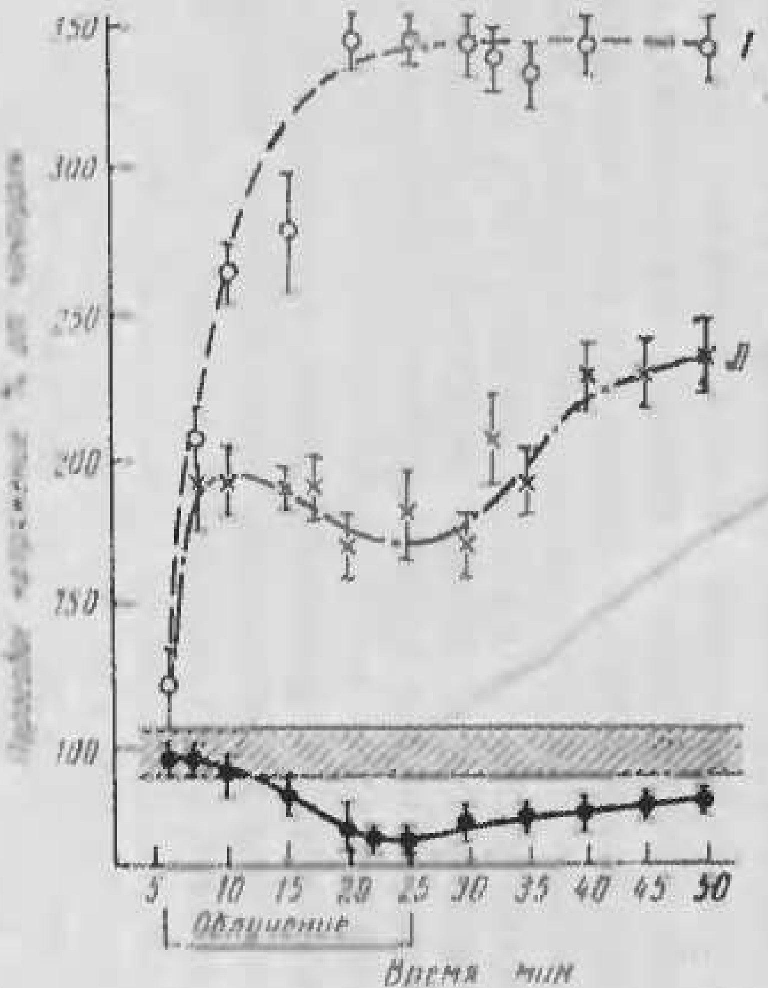


Рис. 70. Изменение во времени пороговых напряжений импульсов переменного тока, вызывающих ЭШР у парамеций, при различных условиях

А: I — введение в среду прозерина ($1{,}5 \cdot 10^{-5}$%), II — введение прозерина и облучение СВЧ-полями, III — облучение СВЧ-полями; Б: I — введение в среду цистеина (1%), II — введение цистеина и облучение СВЧ-полями, III — облучение СВЧ-полями
Заштрихованные области — пороговые напряжения в контроле

дались главным образом резонансные эффекты ЭМП, причем в весьма широкой области частот — от низких до сверхвысоких. Наряду с этим в последние годы обнаруживают все новые механизмы резонансного поглощения ЭМП в биологических средах

В серии исследований (Шноль, 1965, 1967) обнаружено, что в растворах актомиозина, актина и миозина происходят колебательные процессы с частотами от инфранизких до звуковых. Предполагается, что это конформационные колебания молекул белка, заключающиеся в образовании складок, скручивании или сжатии полипептидных цепей. Происходящие при этом изменения гидрофильно-гидрофобных свойств поверхности белковых молекул вызывают соответствующую перестройку структуры воды. В результате в воде распространяются «гидрофильно-гидрофобные волны», посредством которых достигается синхронизация колебаний в макрообъеме белка.

Но при конформационных колебаниях белковых молекул на их поверхности происходят и смещения электрических зарядов, а значит, возможно взаимодействие ЭМП соответствующих частот с этими колебаниями. На основе такого механизма можно было бы рассматривать описанные выше резонансные эффекты при воздействии ЭМП звуковых частот на растворы фермента каталазы.

В другой работе (Чернавский и др., 1967) рассмотрены значительно более высокочастотные колебания молекул ферментов, возникающие в связи с их упругими деформациями. По теоретической оценке авторов, частота колебаний для молекул фермента лизоцима (структура которого полностью расшифрована) составляет $1 \cdot 10^{10} - 5 \cdot 10^{10}$ *гц*.

Интересно, что в описанных выше опытах по воздействию СВЧ-полей на раствор фермента лизоцима и его субстрата (Vogelhit, 1960) обнаружен резонансный эффект (изменение скорости фермент-субстратной реакции) именно при частоте 10^{10} *гц*. Можно надеяться, что на основе рассмотрения упругих деформационных колебаний белковых молекул удастся подойти к выяснению механизмов и других резонансных эффектов ЭМП на макромолекулы, как, например, описанного выше действия ЭМП ультравысоких частот на гамма-глобулины.

Другой тип резонансного поглощения в радиочастотной области спектра, который авторы назвали «пьезоэлектрическим резонансом», наблюдался у некоторых биополимеров (Тульский и др., 1965). В диапазоне от 15 до 50 *Мгц* обнаружено большое число резонансных линий шириной от 2 до 200 *кгц*, положение и интенсивность которых зависят от температуры. В отличие от сигналов ядерно-квадрупольного резонанса линии поглощения не меняются при воздействии постоянного магнитного поля и обусловлены электрической компонентой ЭМП. При изменении температуры образца частота линий изменяется по закону:

$$-\frac{1}{\nu} \approx \frac{d\nu}{dT} = \Delta, \qquad (44)$$

где ν — частота линии поглощения; T — температура образца; Δ — константа, характеристическая для вещества. Эта константа измерена для различных веществ, в том числе и биологических.

Авторы высказывают предположение, что пьезоэлектрический резонанс обусловлен взаимодействием упругой волны, вызванной ЭМП, с дефектами и неоднородностями вещества, как поверхностными, так и внутренними. Упругие волны появляются в таких веществах, в которых есть хотя бы небольшие области с пьезоэлектрическими свойствами. Исходя из этого, авторы считают, что если наблюдавшиеся ранее в биополимерах эффекты действительно имеют пьезоэлектрическую природу, то это означает наличие в биологических структурах областей, состоящих, возможно, из многих макромолекул, обладающих пьезоэлектрическими свойствами. Таким образом, здесь мы сталкиваемся с механизмом действия ЭМП на макромолекулярные ансамбли.

Значительную роль в действии ЭМП на молекулярном уровне (и in vitro, и in vivo) несомненно играет вода. Предполагается (Клотц, 1964), что белковые молекулы в водном растворе способствуют организации молекул воды в стабильную кристаллическую структуру — вокруг неполярных групп белковых молекул образуются кристаллогидраты (гидротактоиды), а денатурация белковых молекул (тепловая или под действием мочевины и т. д.) связана, по-видимому, с разрушением (плавлением) гидротактоидов. Вместе с тем имеются экспериментальные указания на то, что вода участвует в образовании специфической структуры, характерной для макромолекулы, т. е. играет существенную роль в стабилизации структуры молекул белков. Возможно, что влияние ЭМП на белковые молекулы в значительной степени обусловлено воздействием на молекулы и микрокристаллы воды, а следовательно, на упорядоченность гидратных оболочек белковых молекул, на кристаллогидраты в этих молекулах и т. д. Известно, что для свободных молекул воды характеристическая частота релаксации находится в СВЧ-диапазоне, а для льда (предполагается, что жидкая вода имеет ту же гексагональную структуру, что и лед) — в области звуковых частот.

Итак, имеются теоретические и экспериментальные основания подходить к механизмам эффектов ЭМП на молекулярном уровне, рассматривая процессы в самых различных структурных организациях — от макроскопических процессов, в которых участвуют ансамбли молекул (как в конформационных колебаниях молекул белка и в пьезоэлектрическом резонансе) до процессов, связанных с ориентацией ядерных спинов. Однако, как мы уже не раз подчеркивали, от молекулы до клетки существует иерархия все усложняющихся структур, а процессы на молекулярном уровне

в клетке, а тем более в организме, протекают иначе, чем в опытах in vitro. Все это необходимо учитывать при любых попытках объяснения механизмов действия ЭМП на молекулярные процессы в живых организмах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные данные, рассмотренные во второй части, достаточно убедительно свидетельствуют о чрезвычайном многообразии биологических эффектов ЭМП. Наблюдалось действие

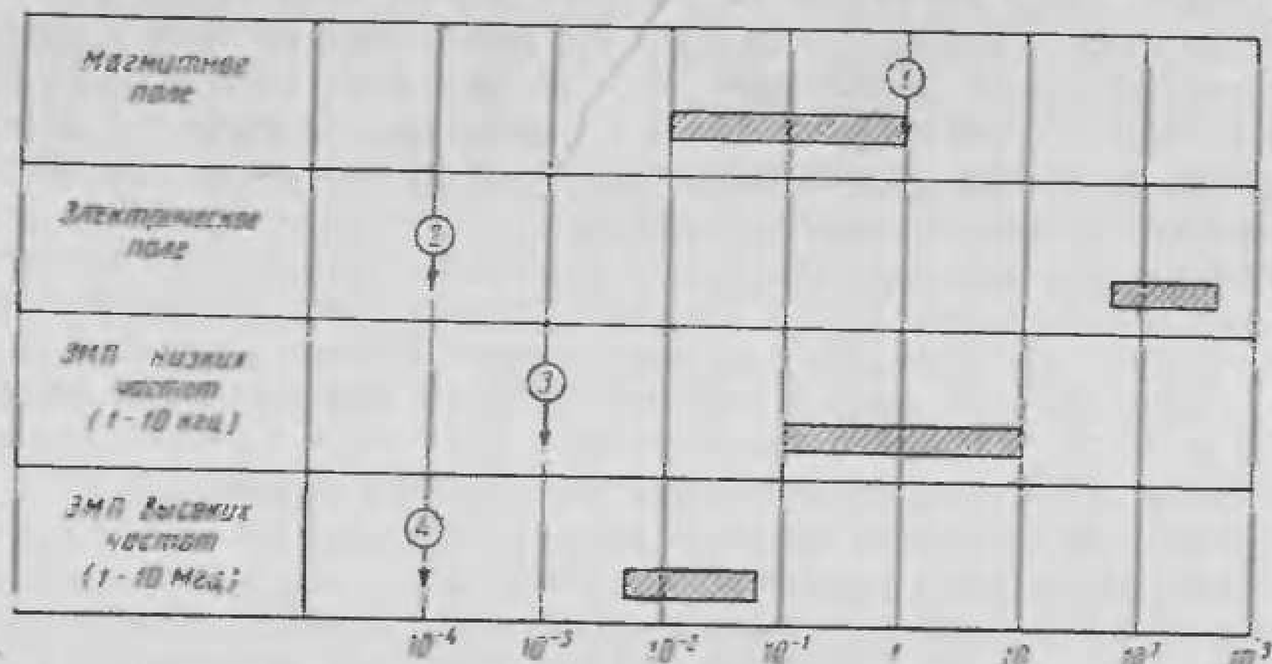


Рис. 71. Интенсивности природных ЭМП (заштрихованные прямоугольники) и минимальные пороговые интенсивности реакции биологических систем на ЭМП соответствующих частот

1 — повышение двигательной активности у птиц, *2* — условные рефлексы у рыб, обладающих электрическими органами, *3* — условные рефлексы у рыб без электрических органов, *4* — сосудистый условный рефлекс у человека.

Цифры внизу означают напряженность магнитного поля (*в*) или электрического поля и ЭМП (*в/м*)

ЭМП на самых различных представителей животного и растительного мира, на любые биологические системы — от макромолекул до целостного организма.

Важнейшая особенность биологических эффектов ЭМП состоит в том, что они возникают зачастую при крайне малых интенсивностях, и это невольно наводит на мысль о существовании в живой природе особо чувствительных к ЭМП систем, аналогов которых не удается пока осуществить в технике. Такие системы могли сформироваться в процессе эволюции живой природы благодаря постоянному ее взаимодействию с ЭМП внешней среды. Сопоставление экспериментально установленной чувствительности живых организмов к ЭМП с интенсивностями соответствующих природных ЭМП показывает, что это весьма вероятно. При

этом следует учитывать, что это еще не наивысшая чувствительность, которая может быть присуща живым организмам. Ведь данные об этих чувствительностях были получены в экспериментальных исследованиях при случайно выбранных параметрах ЭМП, в общем случае отличных от тех, на которые могли бы быть «эволюционно настроены» организмы и различные их системы. С этой оговоркой рассмотрим диаграмму, приведенную на рис. 71. Здесь указаны интервалы интенсивностей природных ЭМП в различных частотных диапазонах и минимальные пороговые интенсивности, при которых экспериментально обнаружены реакции биологических систем на ЭМП соответствующих частот. Как видно из диаграммы, биологические системы чувствительны к таким ЭМП, интенсивность которых близка к интенсивности природных ЭМП, или даже к значительно более слабым.

Итак, рассмотренные экспериментальные данные о биологическом действии ЭМП могут служить косвенным подтверждением правомерности высказанного во введении предположения о существенной роли ЭМП в эволюции и жизнедеятельности организмов. Наряду с этим в последние годы накоплен уже обширный экспериментальный материал, непосредственно подтверждающий такую роль ЭМП внешней среды в живой природе. Получены также косвенные и прямые данные, которые позволяют с достаточным основанием говорить о существенной роли ЭМП в информационных взаимосвязях в самих живых организмах, о существовании «биоинформации» при помощи ЭМП между организмами. Обо всем этом и будет идти речь в следующей части книги.

Часть третья

РОЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В РЕГУЛИРОВАНИИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗМОВ

В этой части книги мы рассмотрим экспериментальные исследования и теоретические соображения, которые прямо или косвенно подтверждают существование в живой природе трех видов информационных взаимосвязей, осуществляемых с помощью ЭМП,— передача информации из внешней среды в организмы, информационные взаимосвязи внутри организмов и обмен информацией между ними. Такие связи могли образоваться только в результате эволюционного формирования в организмах соответствующих электромагнитных систем, способных принимать, передавать и преобразовывать информацию, несомую электромагнитными полями. Эти системы, с одной стороны, должны быть «настроены» на восприятие регулярно изменяющихся ЭМП внешней среды, на прием и передачу специфически кодированных сигналов ЭМП внутри организма и между организмами, а с другой стороны — надежно защищены от естественных электромагнитных помех, как, например, от воздействия нерегулярных, спонтанных изменений ЭМП внешней среды.

Уже при анализе рассмотренных во второй части экспериментальных данных о биологическом действии искусственно создаваемых ЭМП мы сталкивались и с проявлениями высокой чувствительности биологических систем к ЭМП определенных параметров (по частоте, напряженности и характеру модуляции), и с существованием защитных систем, ограждающих от неадекватных воздействий ЭМП. Однако все это выявляется значительно ярче при наблюдении влияния природных ЭМП внешней среды на живые организмы самых разнообразных видов. Такие экспериментальные исследования будут рассмотрены в гл. 11. Экспериментальные данные и теоретические соображения, свидетельствующие в пользу существования ЭМП-взаимосвязей и регуляции внутри организмов, рассматриваются в гл. 12, а вопросам, связанным с проблемой ЭМП-взаимосвязей между организмами, посвящена гл. 13.

В последней, четырнадцатой главе нами обсуждаются практические приложения результатов исследований биологической активности ЭМП.

Глава 11

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРГАНИЗМОВ

Еще Гиппократ усматривал в течении болезней и атмосферных явлений одни и те же фазы и считал это проявлением всеобщности законов природы, всего живого. Однако, как справедливо указывает Пиккарди (1965), «со времен Гиппократа никто не учитывал влияние на биологические процессы космических факторов. Во внимание принимались лишь очевидные метеорологические переменные».

Только в первые десятилетия нашего века В. И. Вернадский взялся за научную разработку проблемы о всеобщей связи живой природы с космическими процессами. В «Очерках о биосфере» (1926) он писал: «Твари Земли являются созданием сложного космического процесса, необходимой и закономерной частью стройного космического механизма, в котором, как мы знаем, нет случайности».

11.1. Связь биологических явлений с солнечной активностью и роль ЭМП в этих эффектах

С 1915 г. Чижевский начал систематически изучать зависимость ряда биологических явлений от космических переменных (Чижевский, 1963, 1964). Он обнаружил параллелизм между изменениями солнечной активности и коллоидно-электрическими изменениями в крови, лимфе и клеточной протоплазме животных, ростом культур некоторых бактерий и т. д.

Позднее было обнаружено (Вельховер, 1936), что бактерии-возбудители дифтерии в годы максимума солнечной активности становятся менее токсичными, более близкими к схожим с ними безвредным бактериям сапрофитам. Оказалось, что реакция (метахромазии), указывающая на этот эффект, наблюдается у бактерий за 4—6 дней до появления вспышки и пятен на Солнце.

Начиная с 1935 г. японские ученые (Таката и др., цит. по Чижевскому, 1964) наблюдали связь между скоростью реакции свертывания крови человека и солнечной активностью. В периоды прохождения пятен через центральный меридиан Солнца показатель скорости реакции возрастал более чем в два раза. Этот эффект коррелировал с периодом вращения Солнца (27-дневным) и с 11-летней цикличностью солнечной активности.

С 1958 г. врач Шульц ведет наблюдения в Сочи над изменениями крови в зависимости от солнечной активности (Шульц, 1964). На большом числе обследований (14 100 случаев), а также из обобщения соответствующих литературных данных он установил, что в периоды солнечной активности уменьшается общее число лейкоцитов, хотя число лимфоцитов возрастает, как это показывает кривая рис. 72. Шульц отмечает характерную географическую особенность этого явления: оно наиболее резко выражено в полярных областях и практически не наблюдается в экваториальных зонах.

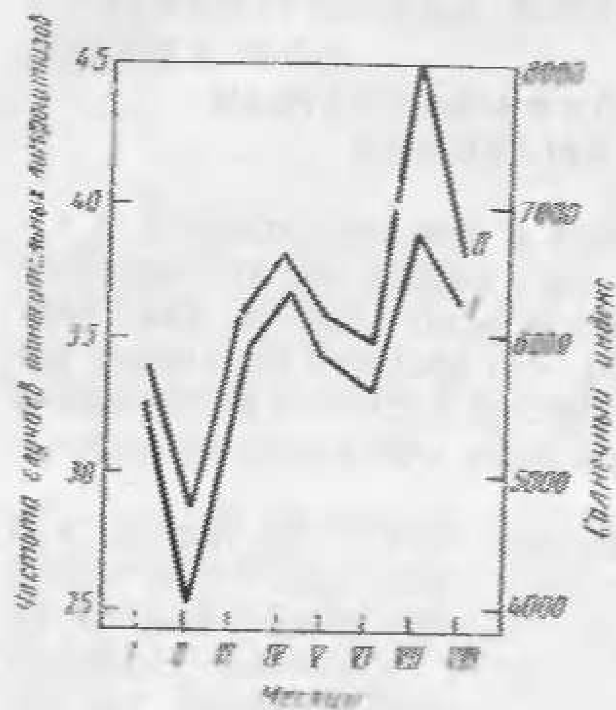


Рис. 72. Солнечная активность (*I*) и частота лимфоцитозов (*II*) за сезон 1957 г. в Сочи

Давно было установлено, что численность популяций самых различных организмов циклически возрастает с периодом, близким к 11-летнему (Вилли, 1959; Щербиновский, 1964). Такая цикличность наблюдается в росте морских водорослей и колоний кораллов, в размножении рыб, насекомых и ряда млекопитающих. Некоторые ученые считают причиной таких колебаний 11-летнюю цикличность солнечной активности. Указывают на совпадение вспышек размножения саранчи-шистоцерки с периодами возрастания солнечной активности (Щербиновский, 1964); на соответствие между толщиной годичных колец секвойи и солнечной активностью (Чижевский, 1963) и т. д. Исследователи, не согласные с этой концепцией, основывают свои возражения на том, что далеко не все циклы возрастания численности популяций имеют периодичность, совпадающую с солнечной, и что часто совпадение на протяжении ряда лет сменяется расхождением, при котором эти максимумы совпадают, наоборот, с периодами минимальной активности (Вилли, 1959).

Давно уже была подмечена связь между возрастаниями солнечной активности и распространением различных заболеваний. Впервые в 30-х годах такая связь была выявлена Чижевским на основе обработки многолетних статистических данных (Чижевский, 1964). Он показал, что вспышки эпидемий чумы, холеры, гриппа, дифтерии и других инфекционных заболеваний совпадают с периодами возрастания солнечной активности. Подобные статистические исследования проводились в дальнейшем неоднократно и давали такие же результаты. На рис. 73 показаны соответствую-

шие графики, указывающие на связь между солнечной активностью и числом случаев заболевания цереброспинальным менингитом и возвратным тифом (Berg, 1960).

С какими же геофизическими изменениями связаны все эти биологические эффекты в периоды солнечной активности? Известно, что при повышении солнечной активности увеличивается интенсивность излучения солнцем видимых и ультрафиолетовых лучей, а также космических лучей, усиливается ионизация атмосферы, повышается напряженность магнитного поля Земли и интенсивность атмосферных разрядов и т. д. Однако экспериментальные наблюдения, проведенные на протяжении последних 30 лет, дают основания полагать, что главную роль в рассмотренных эффектах играют именно изменения ЭМП внешней среды, особенно магнитного и электрического полей и атмосфериков. Приведем некоторые экспериментальные данные о каждом из видов биологических эффектов.

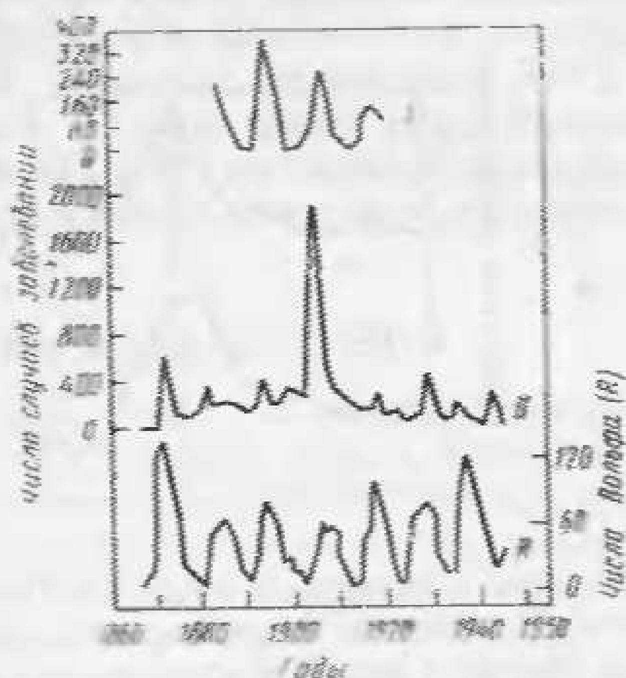


Рис. 73. Солнечная активность (*R*) и число заболеваний цереброспинальным менингитом в Нью-Йорке (*I*) и возвратным тифом в европейской части СССР (*II*)

Влияние магнитного поля Земли на размножение бактерий обнаружено в опытах с культурой стафилококков (Becker R., 1963б). Через 4 час. после посева культура в течение 72 час. находилась в экранирующей камере, где магнитное поле было уменьшено в 10 раз; это привело к уменьшению в 15 раз числа и размеров колоний по сравнению с контрольной культурой, находящейся при тех же прочих условиях (освещенности, температуре, влажности), но в естественном магнитном поле.

В опытах с дрозофилами (Levengood, Shinkle, 1962; Levengood, 1965), помещенными у полюсов постоянного магнита (1000 *гс*), отмечено уменьшение численности потомства на генерацию в периоды повышения солнечной активности. Этот эффект был более выраженным при ориентации магнита северным полюсом на восток и южным на запад, чем при перпендикулярной ориентации; у северного полюса магнита эффект был более значительным, чем у южного.

В опытах с мышами (Tchijevsky, 1940), находившимися в условиях, когда напряженность геомагнитного поля была уменьшена в несколько раз, заметно возрастала смертность по сравнению с контрольными животными.

Связь суточных изменений диастолического давления и общего содержания лейкоцитов в крови человека с ежедневными изменениями интенсивности магнитного поля Земли была отмечена еще в 1935 г. (Alvarez). В те же годы на большом статистическом материале (40 000 случаев) была выявлена (T. Dull, B. Dull, 1936) корреляция между 67 магнитными бурями на протяжении 60 месяцев и возрастаниями числа нервных и психических заболеваний. Такого же рода корреляция была установлена

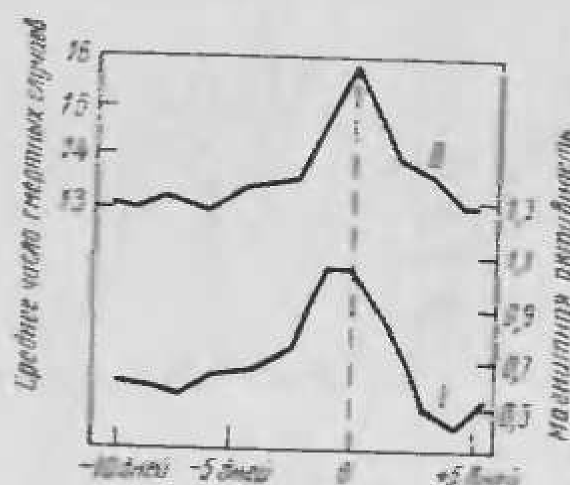


Рис. 74. Магнитные бури (*I*) и смертность от нервных и сердечно-сосудистых заболеваний (*II*) в Копенгагене и Франкфурте-на-Майне

позднее в период с июля 1957 г. по май 1961 г. при анализе более 28 тысяч случаев психических заболеваний для 7—14—21—35-дневных периодов, соответствующим магнитным бурям. Оказалось, что возрастание числа заболеваний (по поступлениям в психиатрические клиники) достоверно ($P < 0{,}05$) коррелирует с магнитными бурями. В другом исследовании этих же авторов (Becker R., 1963, 1963б) подобная корреляция была установлена в отношении общего числа поступлений в больницы и числа летальных исходов в больницах.

Статистика смертности от сердечно-сосудистых заболеваний сопоставлялась с магнитными бурями (Berg, 1960). Рис. 74 иллюстрирует корреляцию для среднего из 60 периодов магнитных бурь и 4899 смертных случаев.

Недавно Чернышев (1966) обнаружил влияние магнитных бурь на активность насекомых. Наблюдения проводились в Туркмении над жуками и мухами (19 учетных видов), собираемыми на свет кварцевой лампы. Оказалось, что число особей, прилетающих на свет в течение ночи, варьировало не только в связи с изменениями обычно учитываемых геофизических факторов — температурой, давлением и влажностью,— но существенно зависело еще от какого-то неизвестного влияния внешней среды. В отдельные ночи прилет насекомых превышал ожидаемый в 10—50 раз. Чернышев установил, что этим фактором являются магнитные бури. Коэффициент корреляции этой взаимосвязи, вычисленный из данных, полученных на 75 336 особях (при исключении влияния температуры и влажности), оказался равным $+0{,}926$ ($P < 0{,}001$).

Влияние магнитных бурь оказалось столь же резким, как и влияние изменений температуры воздуха. В опытах с искусственным магнитным полем напряженностью от 1 до 1000 *э* (создаваемым магнитом, вращающимся со скоростью 3 *об/мин*) наблюдалось повышение активности мух, если температура воздуха была высокой (29°).

Рассмотренные данные свидетельствуют о влиянии солнечной активности на биологические процессы и вместе с тем указывают на возможную роль в этих эффектах природных ЭМП и особенно магнитного поля Земли. Однако более убедительные доказательства влияния природных ЭМП на живые организмы получены в исследованиях ритмики физиологических процессов.

11.2. Биологические часы и природные ЭМП

Проблема «биологических часов» давно уже является предметом многосторонних исследований (Бюннинг, 1961; «Биологические часы», 1964). Суть этой проблемы — доказательство существования передающейся по наследству способности большинства живых организмов (от одноклеточных до человека) измерять время суток и согласовывать с его ходом основные физиологические процессы. В нормальных условиях работа биологических часов коррелирует с периодически протекающими процессами во внешней среде — сменой дня и ночи, изменениями температуры и атмосферного давления.

Такая периодичность длительное время сохраняется и в условиях постоянства всех трех или какого-либо одного из этих метеорологических факторов. Однако при этом период может несколько отличаться от 24 час.— синхронность внутренних и внешних процессов нарушается. Периодичность физиологических процессов сохраняется и при широтном перемещении организмов, при котором изменяются все определяемые местом и временем геофизические факторы.

Существование эндогенного механизма биологических часов можно считать установленным. У одноклеточных организмов и у всех высших растений такие часы локализованы внутри клетки. У высших животных характерна центральная регуляция периодики физиологических процессов, но наряду с этим существует и автономная регуляция в тканях и клетках. Нерешенным, однако, остается вопрос: определяется ли периодичность биологических процессов только этими эндогенными регуляторами или она обусловливается и влиянием периодических изменений факторов внешней среды. Многие ученые разделяют первую точку зрения, считая, что периодичность процессов в организмах определяется только внутренними механизмами и не зависит от какого бы то ни было внешнего периодического воздействия.

Однако результаты ряда исследований, проведенных в последние годы, привели и к другому взгляду на суточную периодичность в организмах: сторонники этого взгляда предполагают, что существенную роль в ее регуляции играют факторы внешней среды, которые обычно не учитывались в опытах с так называемыми

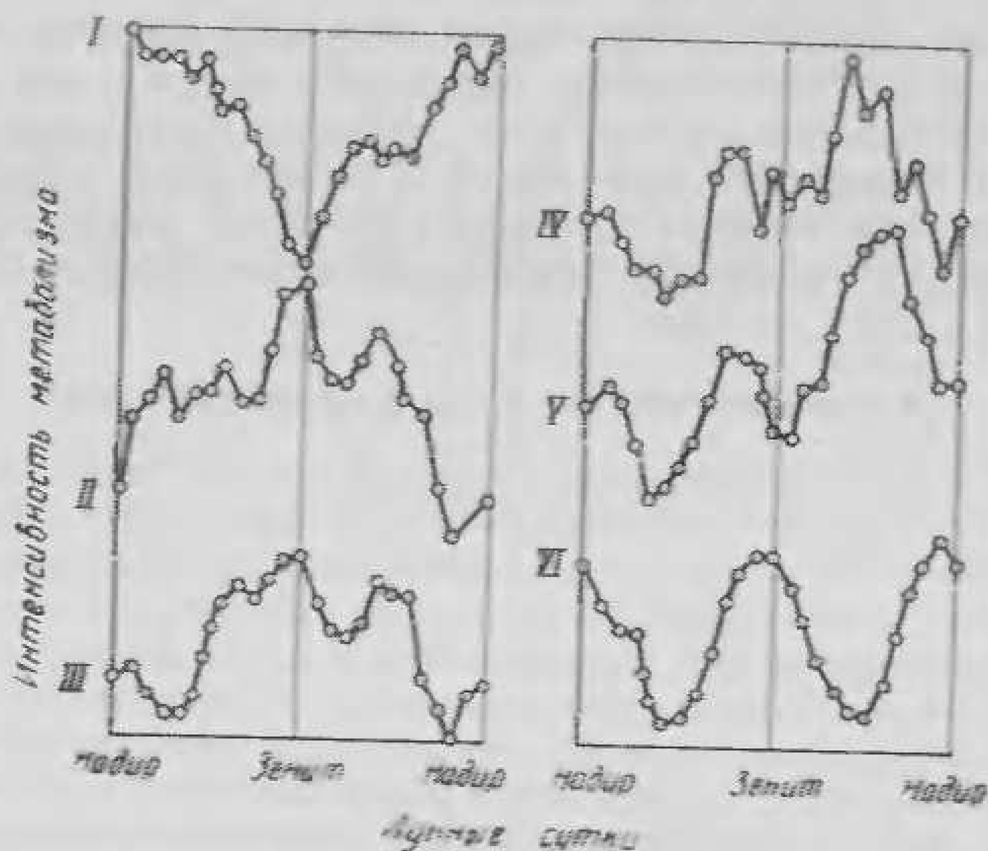


Рис. 75. Средний лунный цикл метаболизма в постоянных условиях

I — крыса (за 2 мес.), *II* — моллюск венерида (за 8 мес.), *III* — улитка (за 1 мес.), *IV* — водоросль *Fucus* (за 5 летних сезонов), *V* — картофель (за 3 года), *VI* — краб (за 5 летних сезонов)

постоянными условиями, а именно — периодически изменяющиеся магнитное и электрическое поля Земли.

Такую точку зрения отстаивает Ф. Браун с сотрудниками (Brown, 1959, 1962a, 1963a, Браун, 1964; Brown et al., 1956), результаты исследований и выводы которых следует рассмотреть подробнее.

Основанием для предположения о внешней природе биологических ритмов послужили результаты двух серий экспериментов.

В первой серии устрицы, собранные на отмели в Нью-Хевене, были перевезены в темном резервуаре в Эванстон (на 16° западнее). Первоначально устрицы раскрывали створки в фазе с приливами на месте сбора, но через две недели ритм раскрывания и закрывания створок стал соответствовать фазам приливов и отливов в Эванстоне. Аналогичные явления были обнаружены и у крабов, содержащихся в режиме «постоянных условий»: в новом

месте ритм их двигательной активности приспособился к местным условиям.

Во второй серии опытов было обнаружено, что поглощение кислорода растениями картофеля коррелирует с изменениями давления и температуры. При этом оказалось, что такая корреляция сохраняется и при длительном нахождении растения в баростате и термостате, т. е. в постоянных условиях. Создается впечатление, что растение получает какую-то информацию об изменениях давления и температуры во внешней среде, будучи изолированным от нее. Такие изменения метаболизма происходили с солнечно-суточной и лунно-суточной периодичностью.

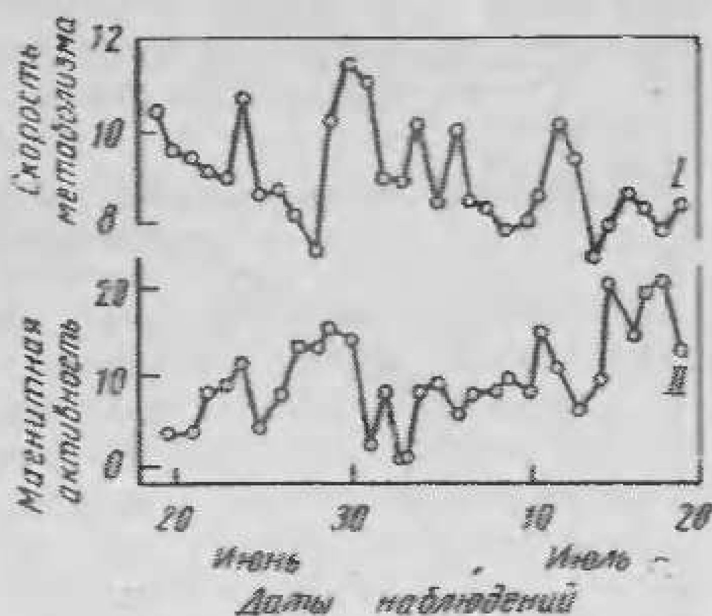


Рис. 76. Сопоставление ежедневных вариаций окислительного обмена веществ у улиток с изменениями магнитной активности

В дальнейших исследованиях было установлено, что подобная периодичность метаболических процессов наблюдается у самых различных организмов, находящихся в постоянных условиях, — от водорослей до позвоночных. Рис. 75 иллюстрирует лунно-суточную периодичность метаболизма у различных организмов, коррелирующую с соответствующими изменениями барометрического давления. У большинства организмов метаболический цикл, соответствующий лунным суткам, оказался сходным с циклом картофеля (у моркови, дождевых червей, раков, саламандр, белых мышей); характер кривых метаболической активности некоторых организмов был зеркальным отображением кривых для других.

Были получены интересные данные о корреляции между метаболической активностью и интенсивностью первичного космического излучения. Обнаруженные при этом биологические и физические циклы у различных организмов показывали прямое или зеркальное соответствие с изменением космического излучения.

На основании всех этих данных авторы приходят к выводу, что условия, считавшиеся ранее «постоянными», в действительности не являются таковыми. Будучи изолированными от воздействия таких геофизических факторов, как температура среды, барометрическое давление и смена света и темноты, организмы как бы продолжают получать информацию о периодических изменениях этих факторов, ибо приспосабливают ритмы физиологических процессов к этим изменениям. «Подозрение» сразу же пада-

ет на магнитное и электрическое поля Земли, которые и в условиях такой изоляции могут воздействовать на организмы и влияние которых на интенсивность космического излучения хорошо известно. Это предположение подтверждается и непосредственно обнаруживаемой корреляцией между изменениями интенсивности биологических процессов и вариациями магнитной активности, как это иллюстрирует рис. 76 для интенсивности обмена веществ у улиток.

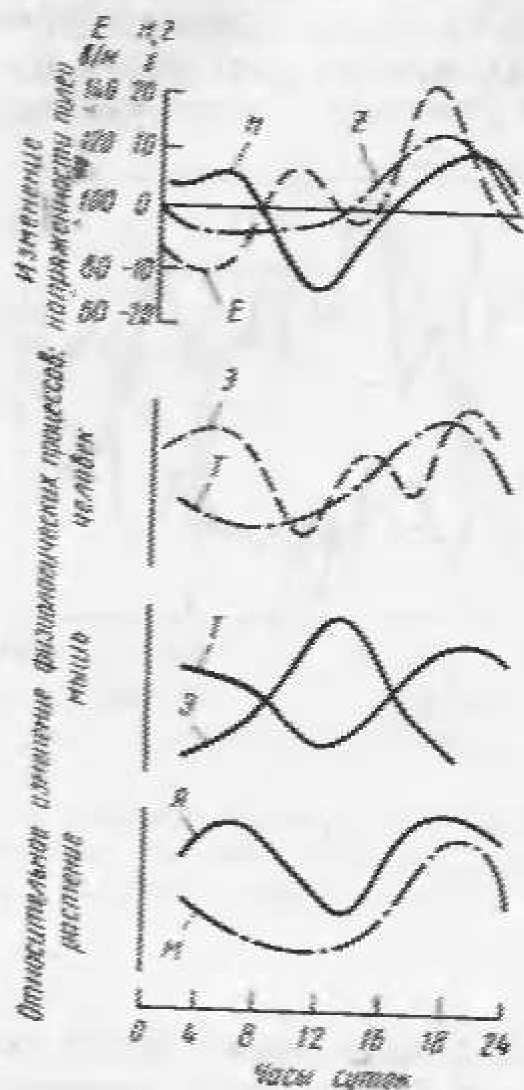


Рис. 77. Сопоставление суточно-периодических изменений электрического (E) и магнитного (H, Z) полей Земли с суточно-периодическими ритмами в живых организмах

Т — температура тела, Э — содержание в крови эозинофилов, Я — объем клеточных ядер, М — число митозов

Соответствие между биологическими ритмами и периодическими изменениями электрического и магнитного полей Земли можно обнаружить, если сопоставить характер суточного ритма некоторых физиологических процессов с суточной периодичностью этих полей. Такое сопоставление мы сделали на рис. 77 для физиологических процессов у мышей и человека (данные Хальберга, 1964) и для изменения числа митозов и объема клеточных ядер (Бюнниниг, 1960).

Что касается отклонений длины периода эндогенного биологического ритма от истинно суточного, то Браун рассматривает это как результат регулярного сдвига фазы между этим ритмом и внешним периодическим процессом. Наряду с этим он высказывает сомнение в том, что биологические ритмы, отличные от суточных, действительно наблюдаются в природе, вне стен лаборатории.

Наиболее убедительными нам представляются взгляды на природу биологических часов, высказанные Ашоффом (1964): «Организм как открытая система всегда взаимодействует со средой, и его поведение и функция есть результат совместного действия внутренних и внешних факторов... Если организм ведет себя периодически, несмотря на то что живет в постоянных условиях, мы говорим о «спонтанной», или «эндогенной», периодичности. Главная же характеристика ритма — его частота — определяется всеми условиями, как внутренними, так и внешними».

Представляется вероятным, что ход биологических часов связан с периодическими электромагнитыми процессами, как внутри организма, так и во внешней среде. В пользу этого предположения свидетельствует, во-первых, тот факт, что многие периодические процессы в организмах обусловлены наличием в них электромагнитных колебательных систем (см. гл. 12), и, во-вторых, приведенные выше данные иследований Брауна о влиянии суточно-периодических изменений магнитного поля Земли на соответствующие периодические изменения в организмах.

11.3. Ориентация живых организмов по магнитному и электрическому полям Земли

В ряде экспериментов Браун с сотрудниками (Brown, 1962а, 1962б, 1962в, 1963б; Brown et al., 1960а, 1960б, 1964а, 1964б; Barnwell, Brown, 1964) установили, что некоторые животные, помещенные в условиях, когда все обычно учитываемые направляющие ориентиры внешней среды практически отсутствуют, проявляют способность различать географические направления. Полученные этими исследователями экспериментальные данные убедительно свидетельствуют в пользу геомагнитной ориентации организмов.

Эксперименты с улитками, планариями и парамециями проводились по однотипной, в основных чертах, методике. На рис. 78 показана схема приборов. Животные помещались в камере, установленной на дне кристаллизатора, в который (до определенного уровня) наливали морскую или речную воду. Они могли покидать камеру только через коридор, ориентируемый по тому или иному компасному румбу. У выхода из коридора находилась дуговая шкала, с помощью которой можно было определять направление движения после выхода из коридора. Область, в которой передвигались животные, освещалась симметрично (по обе стороны выхода) или несимметрично (чтобы учесть влияние света, особенно на фототаксичных животных). Под камерой, на разных расстояниях от нее можно было помещать полосковый магнит, ориентированный любым образом относительно геомагнитного поля. Каждый эксперимент заключался в определении среднего (по группе из 10) направления прохождения животных через дуговую шкалу. Наблюдения за опытными группами при данных экспериментальных условиях чередовались с наблюдениями за контрольными, чаще всего по «слепому» методу. Среднее направление оценивалось относительно контрольного, либо предшествующего, либо последующего; в других опытах общее среднее в опытах оценивалось относительно соответствующего среднего по всем контрольным испытаниям.

Эти эксперименты показали, что при выпуске животных на север они движутся далее по-разному в зависимости от времени су-

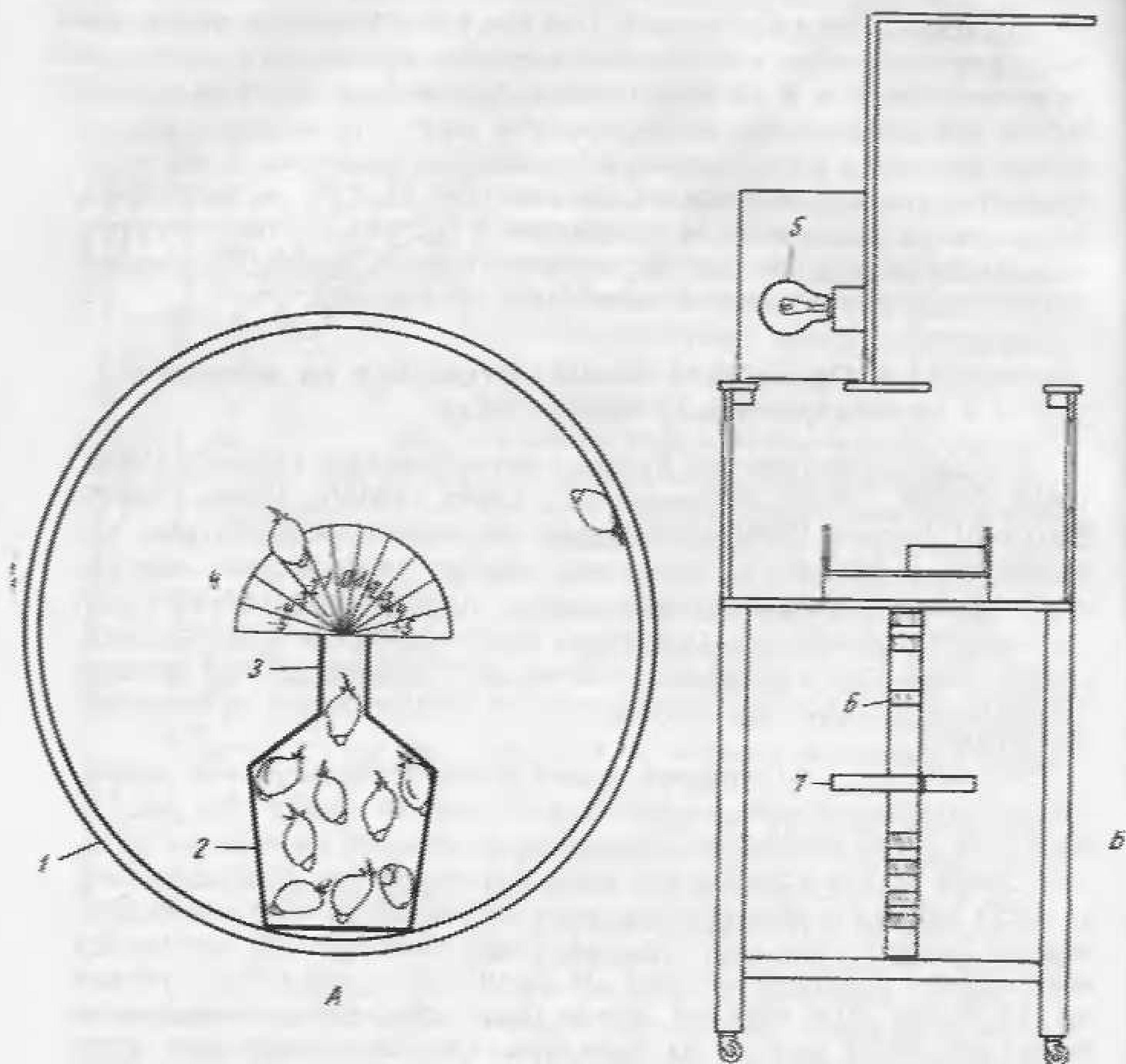


Рис. 78. Прибор для исследования ориентированного движения улиток

А — вид сверху на кристаллизатор (*1*) с алюминиевой камерой (*2*), имеющей выход (*3*) к дуговой шкале (*4*); *Б* — боковой вид деревянного ящика, в котором имеются освещение (*5*) и штатив (*6*) для крепления постоянного магнита (*7*)

ток: утром несколько вправо от этого направления, по мере приближения к полудню — все более отклоняясь влево, а к вечеру характер их движения приближается к утреннему. Наряду с такой солнечно-суточной периодичностью в направлении движения улиток отмечена и лунно-суточная периодичность. При наличии же искусственного магнитного поля 1,5 *э*, параллельного геомагнитному, кривые, выражающие эту периодичность, были такими же по форме, как и без этого поля, но оказывались более или менее смещенными в зависимости от времени суток. На рис. 79 приведены кривые, иллюстрирующие лунно-суточную и солнечно-суточную периодичность (Brown, 1963б).

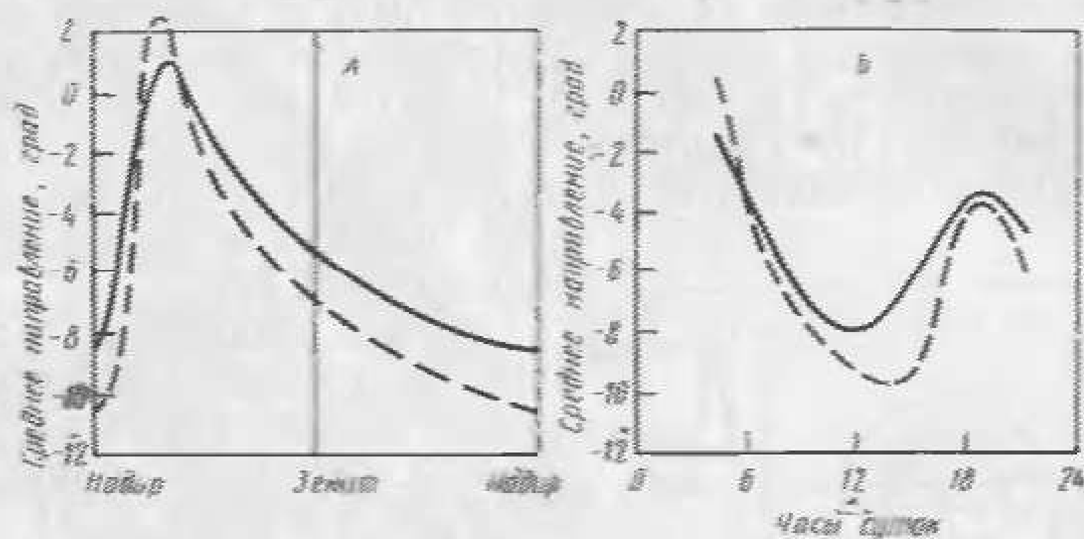


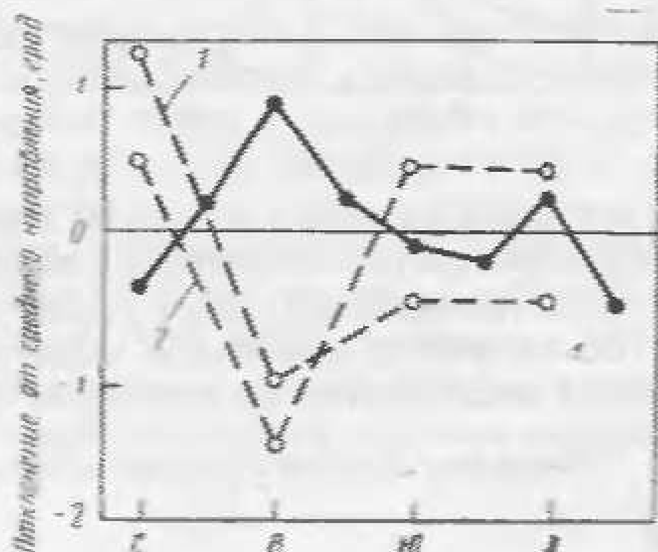
Рис. 79. Отклонения пути движения улиток от направления на север (0°) в естественных условиях (пунктирные кривые) и при наличии искусственного магнитного поля 1,5 гс (сплошные кривые) в зависимости от времени лунных (А) и солнечных (Б) суток

В следующей серии исследований было обнаружено, что улитки способны различать географические направления и ориентацию искусственного магнитного поля. Рис. 80 иллюстрирует, как изменяется направление пути движения улиток при различной ориентации выходного коридора в направлении стран света и какие изменения происходят при соответствующих ориентациях искусственного магнитного поля (5 э), антипараллельного геомагнитному (Brown et al., 1964б). Как видно из рисунка, кривые для искусственного поля являются зеркальным отражением кривых для геомагнитного.

В третьей серии экспериментов было установлено, что способность улиток различать направление геомагнитного или искусственного поля варьирует с лунно-месячной периодичностью. Графическая иллюстрация такой периодичности — месячной и полумесячной — показана на рис. 81 (Brown et al., 1964б).

Рис. 80. Вариации в направлении движения улиток в геомагнитном поле при различной ориентации выходного коридора камеры относительно стран света (пунктирные кривые) и при тех же ориентациях искусственного магнитного поля 5 гс (сплошная кривая)

1 — при выходе улиток в симметрично освещенное поле, *2* — при выходе в несимметрично освещенное поле



Специальная серия экспериментов была предпринята для выяснения зависимости эффекта искусственного магнитного поля от его напряженности (Brown et al., 1964a). Максимальное изменение направления пути улиток при наличии магнитного поля, противоположного геомагнитному, проявлялось при напряженностях поля, близких к значению природного (рис. 82).

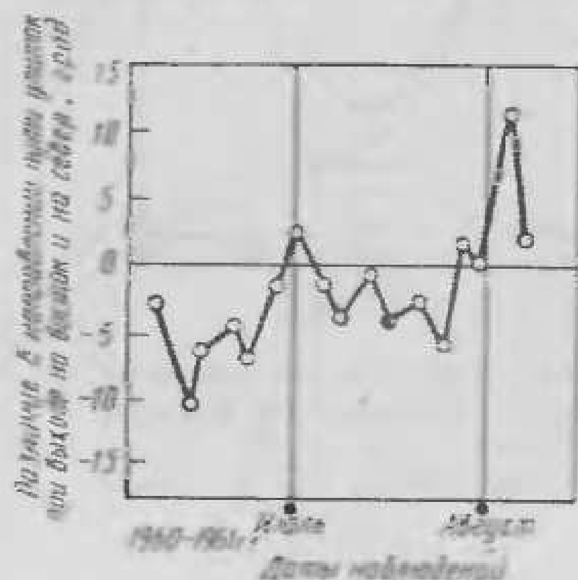


Рис. 81. Лунно-месячная периодичность в различии между направлениями движения улиток при их выходе на восток и на север (черным кружком отмечены новолуния)

Опыты с планариями проводились при помощи аппарата, схематически показанного на рис. 83. Область шкалы освещалась через отверстие в верхней части зачерненной камеры. Избегая горизонтального луча света[1], направленного вдоль полярной оси, планарии выплывали к центру дуговой шкалы, затем эту подсветку выключали и отмечали угол прохождения животными дуговой шкалы (Brown, 1962а, 1962б, 1962в, 1963б, Brown et al., 1960).

В первой серии экспериментов была обнаружена способность планарий различать страны света и ориентацию искусственного магнитного поля 10 э. Как это видно из рис. 84, планарии отклонялись вправо (по часовой стрелке) от полярной оси при ее ориентации на север и юг и влево при

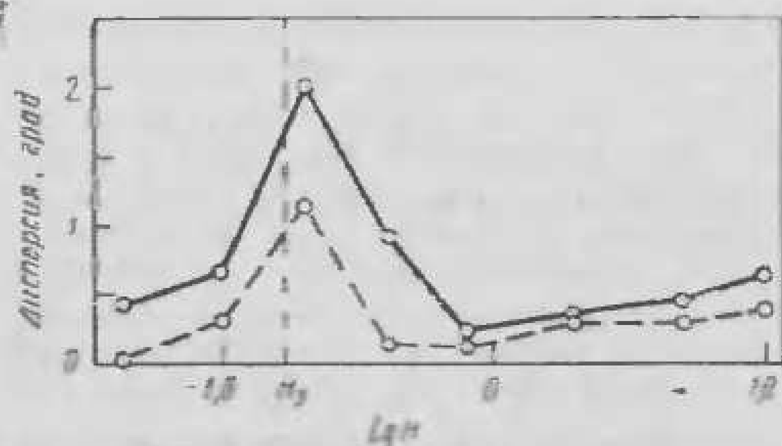


Рис. 82. Среднее отклонение (дисперсия) направления движения улиток под действием искусственного магнитного поля разной напряженности (противоположного геомагнитному) от направлений их движения только в геомагнитном поле

Пунктирная кривая — по средним значениям за 6 мес., сплошная — за 3 мес.; $H_з$ — значение напряженности геомагнитного поля

ориентации на запад и восток; в опытах с различной ориентацией искусственного магнитного поля отклонения носили соответственно противоположный характер.

Во второй серии была отмечена лунно-месячная периодичность в отклонениях планарий от направления на север. При этом

[1] Планарии обладают отрицательным фототаксисом.

в осенне-зимние месяцы максимумы отклонений от средних направлений повторялись каждое новолуние, а в весенние месяцы периоды их повторения были вдвое короче.

В третьей серии наблюдались отклонения пути планарий в геомагнитном и искусственном поле 4 э, направленном на север или на восток, при ориентации полярной оси шкалы на север.

Выявился месячный ритм и в характере отклонений и в их числе. В новолуние отклонения составляли 10° влево от оси, а в полнолуние 10° вправо. Этот ритм варьировал в течение года.

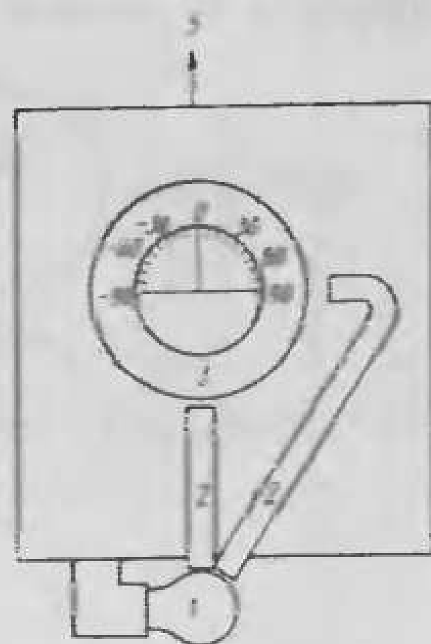


Рис. 83. Прибор для ориентационных опытов с планариями

1 — опалесцентная лампа, 2 — светопроводы, 3 — чашка Петри с дуговой шкалой, 4 — зачерненная камера, 5 — направление нулевой оси шкалы

Опыты с парамециями проводились при помощи камеры с коридорным выходом, помещенной в чашке Петри. Дуговая шкала находилась в поле зрения стереоскопического микроскопа (изготовленного в основном из немагнитных материалов) и была слабо освещена снизу (через водяной фильтр, поглощающий тепловые лучи). Вся аппаратура находилась в темной комнате. Процедура эксперимента состояла в наблюдении путей прохождения парамеций через дуговую шкалу (Brown et al., 1962б).

При ориентации выхода из камеры на север сравнивали пути движения парамеций в геомагнитном поле с путями, наблюдавшимися при наличии дополнительного искусственного поля 1, 3 э, ориентированного с востока на запад. Результаты таких исследований приведены на рис. 85. Очевиден одинаковый характер распределения направлений движения в обоих случаях (кривые рис. 85, *Б*). Обнаружены изменения в направлении движения парамеций (рис. 85, *В*), коррелирующие с фазами луны: максимум числа поворотов по часовой стрелке (от полярной оси шкалы) отмечался через 4 дня после новолуния, а максимум поворотов против часовой стрелки — через 4 дня после полнолуния. Отклонения через 4 дня после новолуния коррелировали с фазами луны с коэффициентом $r = 0{,}76 \pm \pm 0{,}09$.

Способность к ориентации по геомагнитному полю и чувствительность к слабым магнитным полям была недавно найдена и у простейших *Volvox aureus* (Palmer, 1962, 1963) с помощью того же метода, что и в опытах с парамециями (с той разницей, что выход вольвокса из камеры стимулировался кратковременным

освещением). Исследования проводились при трех экспериментальных условиях: *I* — в геомагнитном поле (контроль), *II* — при дополнительном поле 5 *э*, параллельном геомагнитному, *III* — при дополнительном поле 5 *э*, перпендикулярном геомагнитному.

В результате многомесячных ежедневных наблюдений были установлены следующие соотношения между числом поворотов вольвоксов по часовой стрелке: при втором экспериментальном

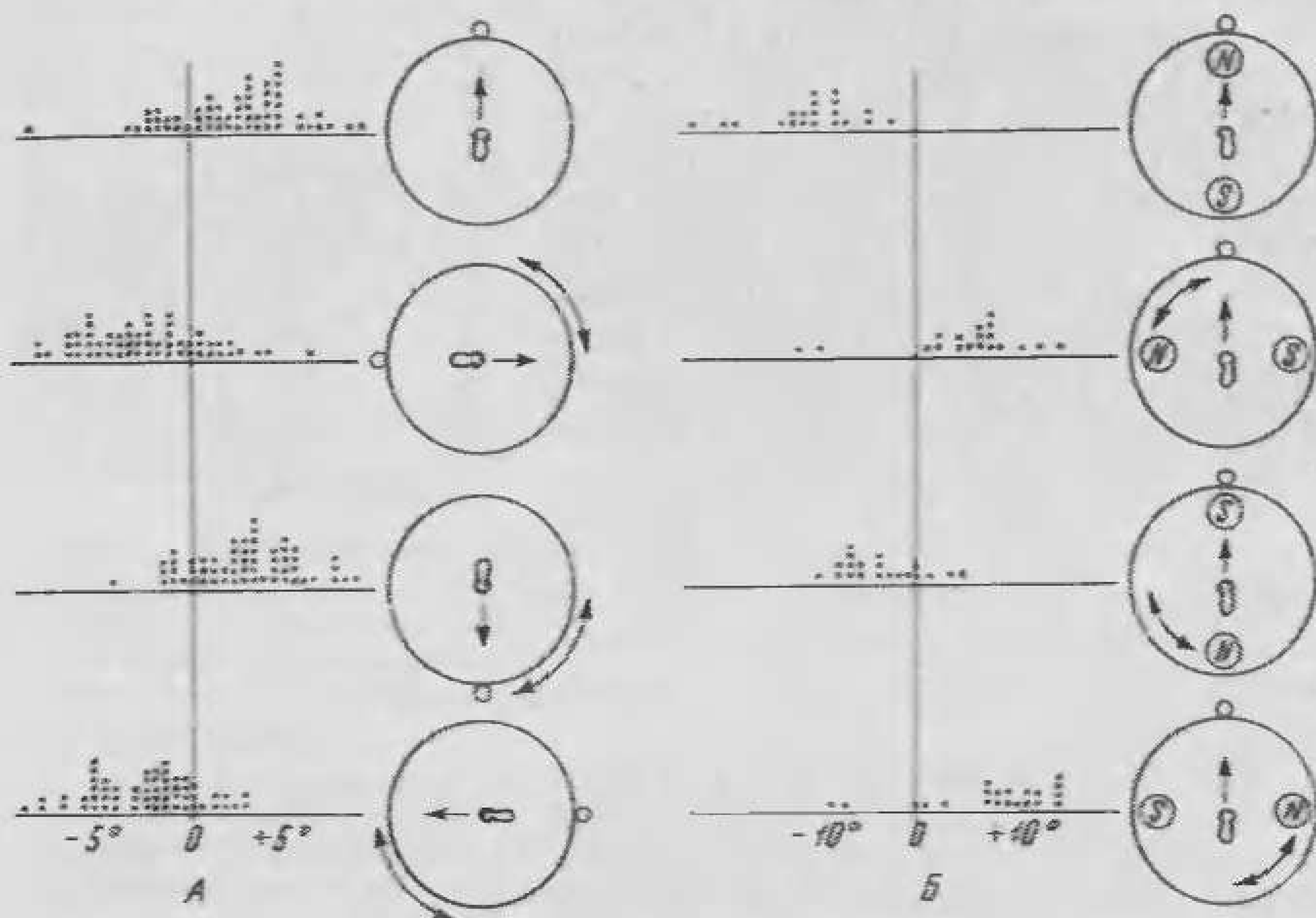
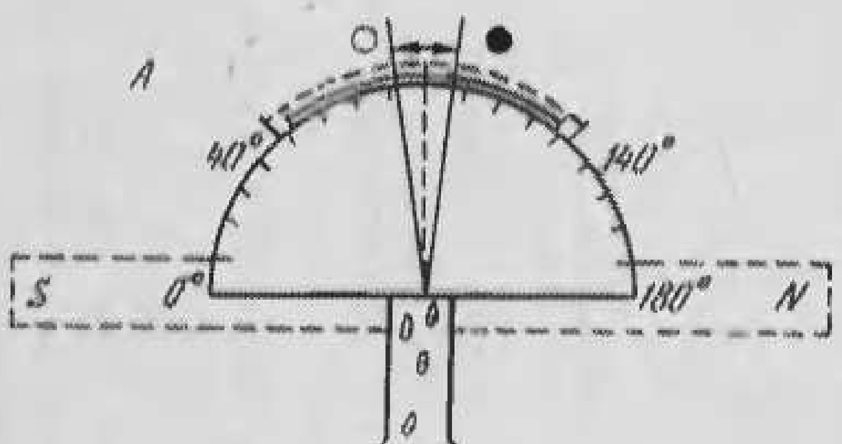
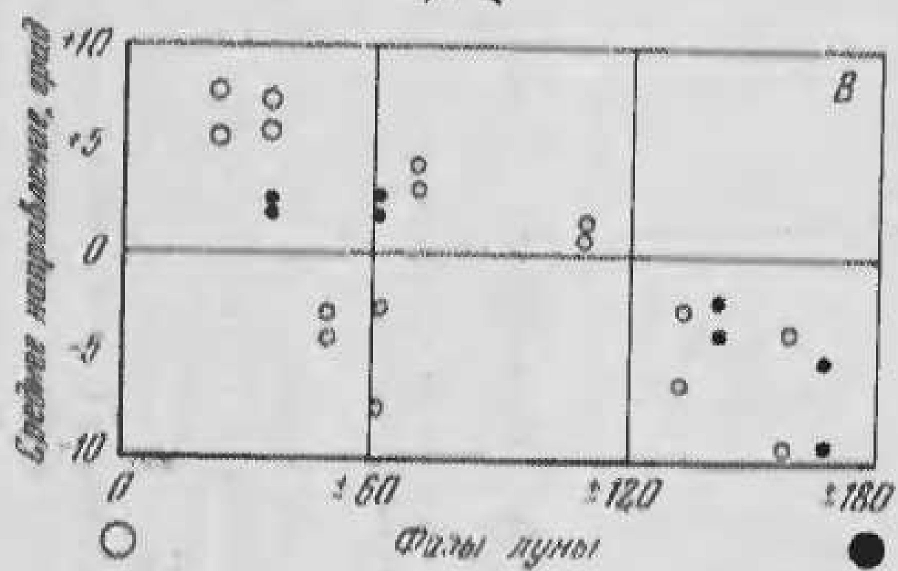


Рис. 84. Направления движений планарий в геомагнитном поле при ориентации коридора камеры по странам света (*А*) и в искусственном магнитном поле 10 *гс* при соответствующих ориентациях его северного полюса (*Б*)

условии — на 43% больше, чем при первом; при третьем — на 150% больше, чем при первом, и на 75% больше, чем при втором.

Интересные результаты получены при исследовании геомагнитной ориентации улиток и планарий, находящихся в искусственном электростатическом поле между пластинами конденсатора (Brown, 1962а, 1962в). Оказалось, что направления движения этих животных, находящихся в поле с напряженностью всего 2 *в/см*, перпендикулярном оси тела, отличаются от направлений движений, наблюдавшихся только в геомагнитном поле. На рис. 86 показано, как под влиянием электростатического поля разной полярности изменяется направление движения при ориентации коридора камеры параллельно или перпендикулярно геомагнитному полю. Более детальные исследования (Webb et





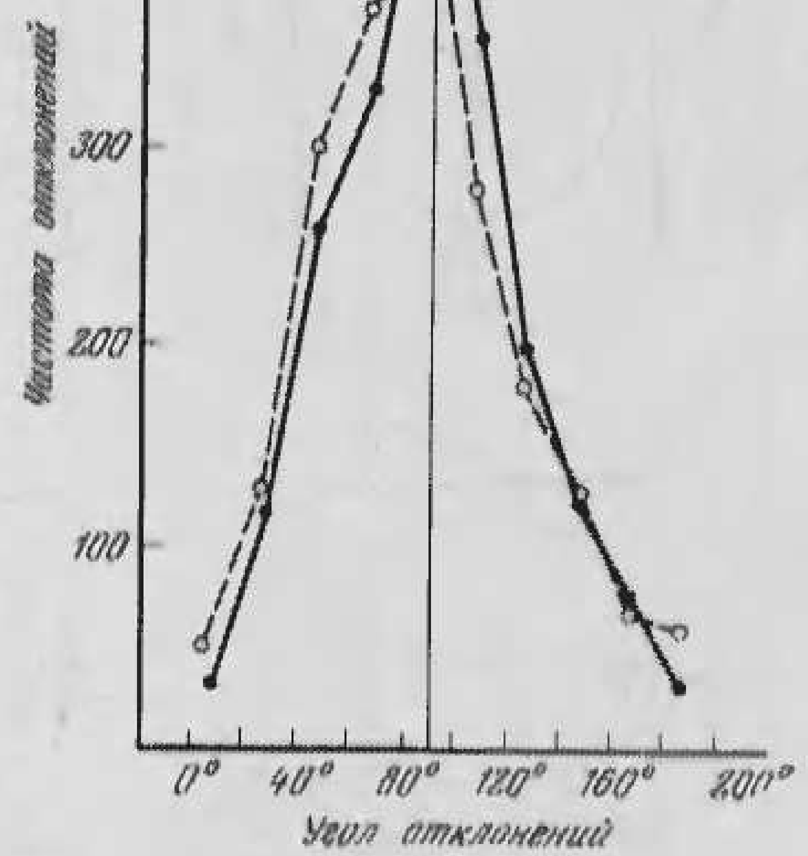


Рис. 85. *А* — ориентационный аппарат для **парамеций**; на дуговой шкале показана зона разброса в направлениях движений парамеций в полнолуние (○) и новолуние (●); *Б* — частота отклонений в направлении движений парамеций на различные углы от оси шкалы (90°) в геомагнитном поле (пунктирная кривая) и при искусственном магнитном поле 1,3 *гс*, ориентированном в направлении восток — запад (сплошная кривая); *В* — зависимость отклонений от фаз луны

al., 1961) дали основания полагать, что улитки различают и направление линий электростатического поля (положительная пластина конденсатора справа или слева от оси тела). Аналогичные результаты были получены и в опытах с планариями при различной ориентации их выхода по компасным румбам (Brown, 1962в).

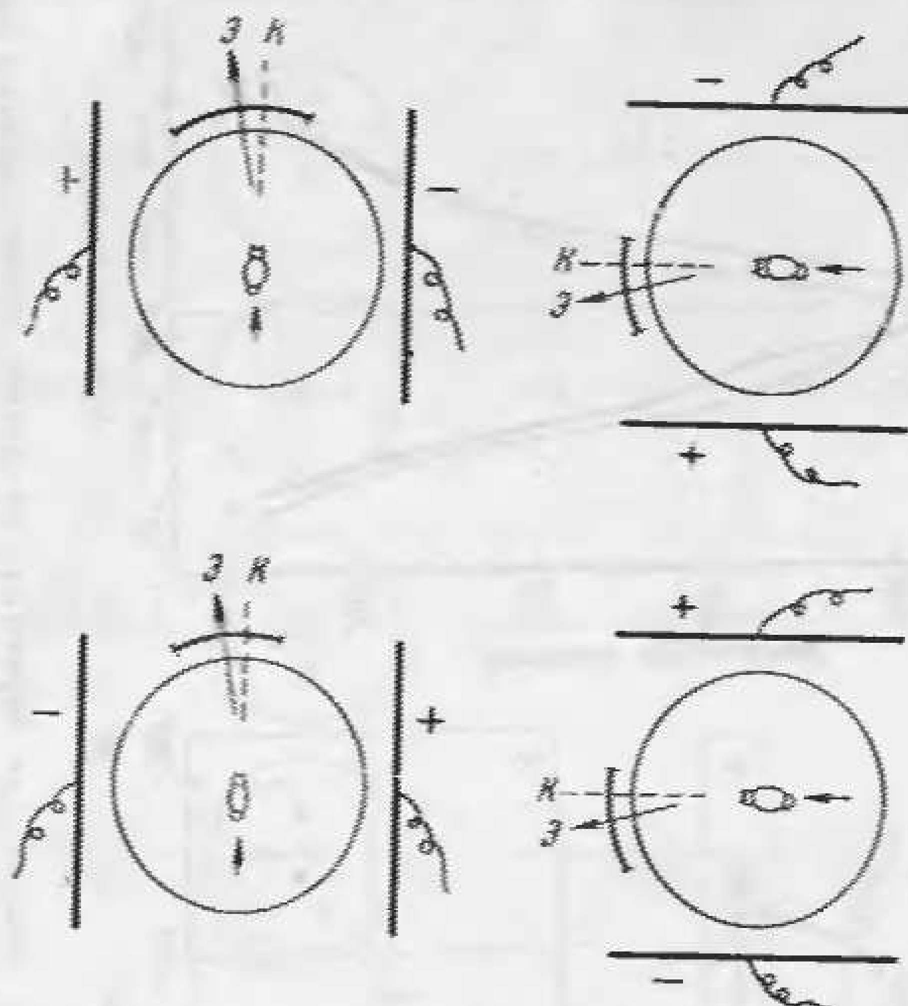


Рис. 86. Иллюстрация влияния электростатического поля (2 *в/см*) на направление движения улиток

Э — эксперимент в электрическом поле, *К* — контроль (только в геомагнитном поле)

Упомянем еще данные об изменении скорости движения планарий, плавающих в горизонтально расположенной стеклянной трубке, при помещении ее в вертикально направленное электростатическое поле с напряженностью 15 *в/см* (Kennet, Penhale, цит. по Brown, 1962в), о суточно-периодичной реакции морских улиток на вертикальное электростатическое поле 15—45 *в/см* (Webb et al., 1959) и, наконец, о чувствительности живых организмов к электростатическим полям, описанным во второй части этой книги.

Мы описали только основные данные из многочисленных исследований (тысячи опытов, десятки тысяч наблюдений), проведенных Брауном и его сотрудниками на протяжении ряда лет. Эти данные получены при достаточно корректных методах экспе-

риментирования и при тщательной статистической обработке наблюдений, поэтому достоверность основных экспериментальных результатов не вызывает сомнений. Представляются правомерными и основные предположения, высказанные авторами на основе полученных ими экспериментальных данных. Эти предположения в основных чертах сводятся к следующему:

1. В живых организмах существуют механизмы, действующие как «биологический компас» и «биологические часы». Эти механизмы обеспечивают способность организмов ориентироваться по электрическим и магнитным полям Земли в соответствии с периодическими изменениями геофизических факторов, как общепланетарными, так и местными.

2. Эти механизмы «настроены» на слабые природные поля и их действие основано, по-видимому, на реакциях типа триггерных, характер которых зависит и от других геофизических факторов. При исследованиях биологического действия магнитных и электрических полей значительной напряженности, обычно применяемых в лабораторных экспериментах, эти реакции могут быть ослаблены или совсем подавлены.

3. Рассматриваемые механизмы адаптивны в отношении изменений внешней среды и, конечно, действуют в организме в неразрывной связи с основными системами, осуществляющими координацию процессов жизнедеятельности организмов в их взаимодействии с внешней средой.

В некоторых исследованиях непосредственно установлено, что насекомые ориентируются в пространстве по магнитному полю Земли. По наблюдениям Беккера (Becker G. 1963а, 1963б) майские жуки, пчелы, кузнечики, бескрылые термиты и многие мухи проявляют способность к такой ориентации. Так, в безветренную погоду или при слабом ветре мухи почти всегда совершают «посадку» в направлениях восток — запад или север — юг, независимо от солнцестояния. В состоянии покоя мухи стремятся сохранить эти направления тела или изменяют его скачком на 90°. В поле постоянного магнита, в 100 раз превышающем геомагнитное, насекомые приходят в возбужденное состояние, но через некоторое время располагаются параллельно или перпендикулярно магнитным силовым линиям. В электростатическом поле с напряженностью, в 100 раз большей, чем напряженность электрического поля Земли, мухи прекращают двигательную активность.

Очень сильные магнитные поля также подавляют активность насекомых.

Как показал ряд исследований, рост растений и их пространственная ориентация также зависят от геомагнитного поля.

Установлено (Крылов, Тараканова, 1960, 1961; Коряк, 1966), что семена злаковых (кукурузы, пшеницы), высаженные корешком зародыша на юг, прорастают быстрее (на 1—3 дня), чем

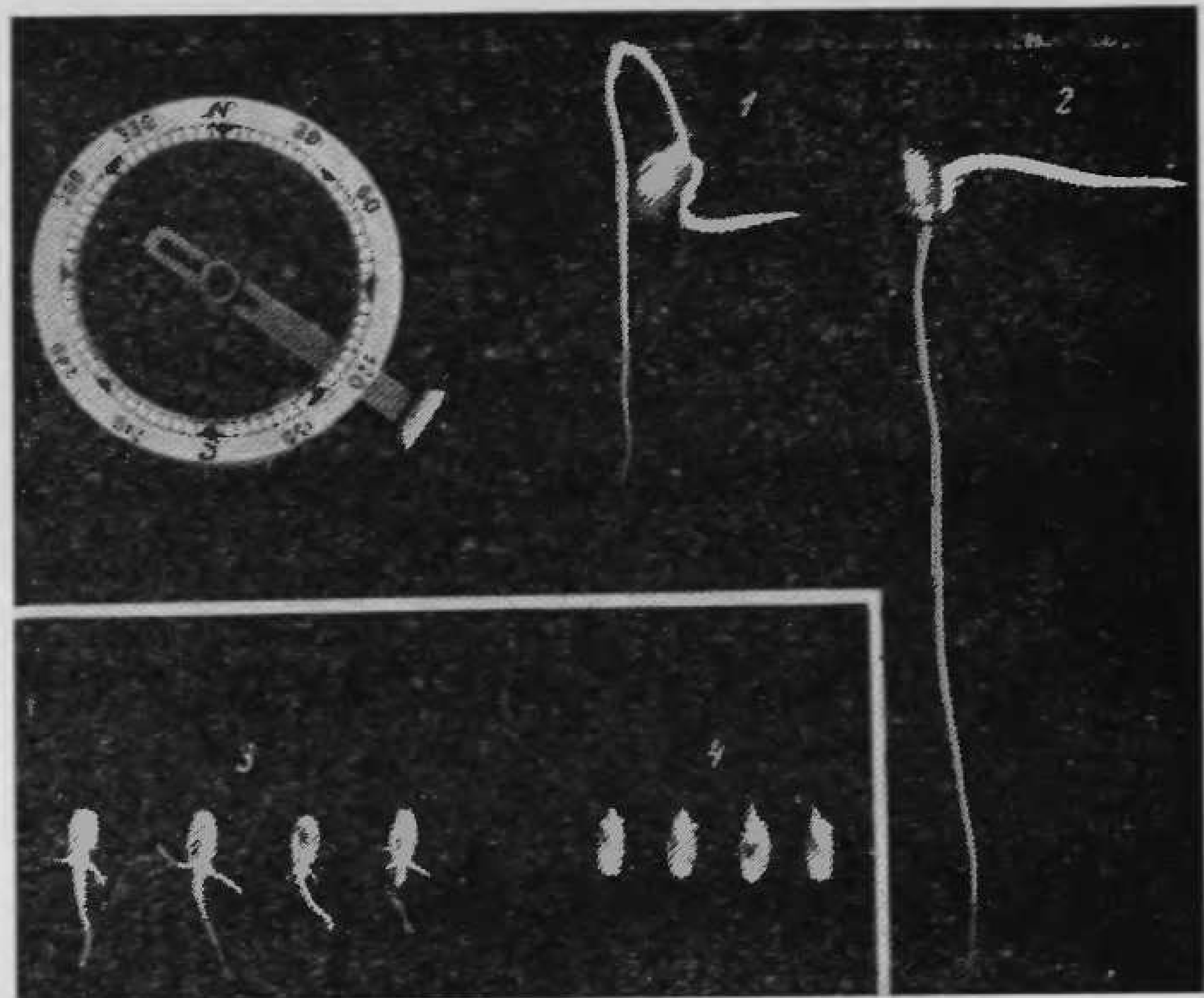


Рис. 87. Иллюстрация геомагнитотропизма при прорастании семян кукурузы и пшеницы

Семена кукурузы, обращенные корешком зародыша на юг (2), прорастают быстрее, чем обращенные корешком зародыша на север (1), причем в последнем случае проросток изгибается к югу; 3, 4 — семена пшеницы при тех же сравнениях

высаженные корешком на север. Опыты Чуваева (1966) показали, что активаторы роста усиливают этот эффект, а ингибиторы не только ослабляют, но и изменяют знак эффекта: подобная инверсия эффекта происходит и под воздействием искусственного магнитного поля с напряженностями от 0,4 до 20 э. Эффект зависит и от фаз луны: при посеве семян в новолуние он выражен наименее резко.

Эффект геомагнитотропизма проявляется в изгибании проростков к югу, если они были высажены корешком зародыша на север. Фотография, приведенная на рис. 87 (из работы Крылова и Таракановой, 1961), иллюстрирует этот эффект, а также различие в скорости прорастания семян в зависимости от их ориентации относительно магнитного поля Земли. Проявление геомагнитотропизма у туи восточной наблюдал Аброськин (1966): наиболее развитые, скелетные ветви, отходящие от этого дерева

в направлении восток — запад, развиваются далее в приблизительно вертикальных плоскостях, проходящих преимущественно в направлении север — юг; такое ориентированное расположение ветвей отмечено у 136 из 152 деревьев.

Упомянем, наконец, об опытах Питтмана в Канаде (Pittman, 1962), который установил, что при высаживании зерен пшеницы с ориентацией оси симметрии в направлении север — юг получается более высокий урожай, чем при беспорядочном посеве.

Итак, рассмотренные экспериментальные данные достаточно убедительно свидетельствуют в пользу существования у живых организмов «ориентационных систем», реагирующих на магнитное и электрическое поля Земли. В связи с этим вновь появилась надежда подтвердить гипотезу об ориентации птиц по магнитному полю Земли, высказанную более ста лет назад русским академиком Миддендорфом.

За последние 20 лет не раз делались попытки экспериментальной проверки этой гипотезы, но они не привели пока к определенным результатам.

Убедительными, казалось бы, были опыты Игли (Yeagley, 1947, 1951). Исходя из предположения, что ориентация осуществляется по геомагнитному полю, он провел следующие эксперименты. Голубей, приученных возвращаться с дальних расстояний в передвижную голубятню, отвозили за тысячи миль в место, где показатели геофизических факторов были такими же, как в месте тренировки. И в этих условиях голуби легко находили издалека дорогу к голубятне. В других опытах Игли установил, что если к крыльям голубей прикрепить маленькие магнитики, то способность к ориентации утрачивается.

Однако неоднократные повторения опытов Игли (Gordon D., 1948; Van Riper, Kalmbach, 1962; Griffin, 1955, и др.) не подтвердили его результатов. Не увенчались успехом и попытки выработать условный рефлекс на магнитное поле у голубей, хотя слабое влияние поля на их поведение было отмечено в опытах с обучением ориентации в лабиринте (Neville, 1955). По этим причинам многие ученые скептически относятся к геомагнитной гипотезе ориентации птиц, указывая на то, что с точки зрения эволюции такая ориентационная способность должна бы наблюдаться и у других животных. Но эту аргументацию нельзя считать убедительной: как мы видели, ориентация по магнитному полю Земли экспериментально обнаружена у различных видов организмов. Наряду с этим недавние наблюдения указывают на возможность геомагнитной ориентации (как и ориентации по электрическому полю) и у рыб.

Поддубный (1965) установил, что пересаженные в незнакомый бассейн рыбы в 87,5% случаев и местные особи в 50% случаев движутся в направлении магнитного меридиана. Это проис-

ходит на определенных участках миграционного пути при движении рыбы в водной массе с однородными гидрофизическими показателями и проявляется тем чаще, чем большее число из этих показателей оказывается стабильным. Эта зависимость иллюстрируется диаграммой, приведенной на рис. 88. Автор считает, что полученные результаты указывают на возможную геомагнитную ориентацию рыб. Такая возможность подтверждается и описанными выше опытами (см. § 7.2) по выработке у рыб условных рефлексов на магнитное поле.

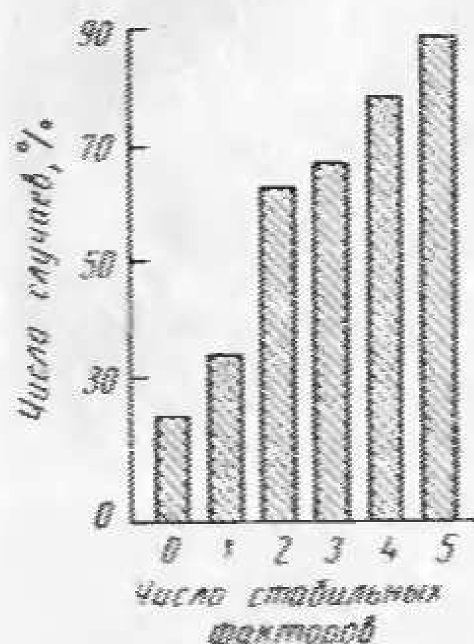


Рис. 88. Частота движения рыб по магнитному меридиану в зависимости от числа факторов среды, оставшихся стабильными (температуры, электропроводности и прозрачности воды, наличия течения и глубины обитания рыб)

Мы склонны присоединиться к мнению ученых (Дементьев, 1965; Мантейфель и др., 1965), считающих проблему геомагнитной ориентации у птиц и рыб заслуживающей серьезного изучения. Плодотворной в этом отношении представляется упомянутая уже концепция Брауна, состоящая в том, что навигационные системы у живых организмов представляют собой сочетание биологического «компаса» и «часов». А рассмотренные в этом разделе экспериментальные данные приводят нас к убеждению о необходимости общебиологического подхода к изучению геомагнитной и геоэлектрической ориентации в живой природе. Тот факт, что и проявление такой ориентации, и наличие «биологических часов» отмечены даже у самых примитивных одноклеточных организмов, наводит на мысль о том, что простейшие системы, обеспечивающие эти жизненно важные способности, сформировались уже на заре эволюции и далее только усложнялись.

11.4. О действии природных ЭМП низких и высоких частот на химические и биологические системы

До сих пор мы рассматривали исследования, направленные на выявление закономерной связи между различными биологическими явлениями и магнитными или электрическими полями Земли, медленно изменяющимися с многолетней, годичной, месячной и суточной периодичностью. Но как указывалось выше (§ 2.3), во внешней природной среде имеется широкий спектр ЭМП, возникающих при атмосферных разрядах. Суммарная ин-

тенсивность этих ЭМП по всей планете также периодически изменяется — в соответствии с 11-летними циклами солнечной активности, в течение года и на протяжении суток. В связи с этим возникает естественный вопрос: играют ли эти ЭМП какую-либо существенную роль в жизнедеятельности организмов или их следует рассматривать только как помехи, к которым организмы приспособились в процессе эволюционного развития? Что касается исследований с животными, то экспериментальные данные на этот счет пока крайне скудны. Можно упомянуть только эксперименты с перепончатокрылыми (Maw, 1961), в которых было установлено, что скорость кладки яиц возрастает при экранировании насекомых от флуктуирующих природных ЭМП при наличии или отсутствии искусственного электростатического поля с напряженностью 1,2 *в/см* (близкой к напряженности электрического поля Земли). Тот же эффект наблюдался в том случае, когда насекомых, экранированных от природных ЭМП, подвергали воздействию искусственных ЭМП (0,8 *в/см*), флуктуирующих подобно природным.

На протяжении 15 лет во Флоренции профессор Джорджио Пиккарди ведет систематические исследования, результаты которых весьма убедительно свидетельствуют о влиянии природных ЭМП низких и высоких частот на протекание химических реакций и на различные биологические процессы in vitro. Уже через год после начала этих исследований в Италии они стали проводиться в ряде стран на всех континентах (к настоящему времени в 15 странах). Мы рассмотрим основные методы и результаты этих исследований на основе монографии Пиккарди и специального сборника под его редакцией (Relations entre phenamenes solaires..., 1960; Piccardi, 1962, 1965), где приведена обширная библиография.

Работая с коллоидными растворами, Пиккарди обнаружил, что одна и та же реакция осаждения при прочих равных условиях протекает с различной скоростью в разное время. Никакими погрешностями эксперимента эту невоспроизводимость объяснить было нельзя, и Пиккарди предположил, что причина ее лежит в воздействии на воду каких-то пространственных сил, вероятнее всего электромагнитной природы.

Основанием для этого предположения послужили результаты сравнения флуктуации скорости осаждения при гидролизе хлористого висмута в простых и экранированных пробирках. Сначала Пиккарди проверил закономерность флуктуаций скорости осаждения при протекании этой реакции в простых пробирках, сопоставляя по две случайно выбранные группы из 10 пробирок. Как и следовало ожидать, частота случаев того или иного процента различия в скорости осаждения распределялась по кривой Гаусса (при среднем различии в скорости около 50%). Однако при сопоставлении скорости осаждения в таких же группах

Таблица 16

Зависимость процента различия (T) в скорости осаждения хлористого висмута от экспериментальных условий

Изучаемая зависимость	Тип теста	Характеристика сопоставляемых экспериментальных условий	Оценка T, %	Выявленные закономерности
От способа экранирования	D	В открытом пространстве Под медной пластиной Внутри медной камеры	54,5 37,0 37,5	Нет зависимости от способа экранирования. По-видимому, воздействующие силы направлены сверху вниз
От материала экрана	D	В открытом пространстве (0 $ом^{-1}см^{-1}$) Железо (10·10⁴ $ом^{-1}см^{-1}$) Алюминий (35·10⁴ $ом^{-1}см^{-1}$) Медь (58·10⁴ $ом^{-1}см^{-1}$)	46,4 45,4 42,2 39,6	Наблюдается зависимость от величины удельной проводимости материала экрана, что характерно для эффективности экранирования от ЭМП
От структуры экрана	P	Открытое пространство — алюминиевая пластина Открытое пространство — пластина, покрытая алюминиевой краской Алюминиевая пластина — пластина, покрытая алюминиевой краской	76,8 72,6 45,6	Эффект экранирования сплошным металлом мало отличается от эффекта при экранировании алюминиевой краской (изолированные металлические частицы). В дальнейшем установлено, что пластина экранирует от ЭМП 10 *кгц*, а краска — нет. Нужны дополнительные исследования
От толщины экрана	D и P	0,3 *мм* (свинец) 15 *мм* (свинец) 30 *мм* (свинец)	38,7—40,4 * 42,9 42,9 -41,4 *	Нет существенной зависимости от толщины экрана, хотя ее изменяли в 100 раз
От толщины тонких экранирующих покрытий	P	Открытое пространство — золотая пленка (0,0005 *мм*) на картоне Открытое пространство — золото, распыленное на целлофане (50Å) Золото на целлофане — золотая пленка	71,0 45,0 76,0	Золотая пленка экранирует более эффективно, чем распыленное золото на целлофане
От высоты над уровнем моря	D	800 *м* — при минимуме солнечной активности 2000 *м* — при минимуме солнечной активности	51,9 54,7	Наблюдается зависимость от высоты над уровнем моря, резче выраженная в период максимума солнечной активности

Таблица 16 (окончание)

Изучаемая зависимость	Тип теста	Характеристика сопоставляемых экспериментальных условий	Оценка T, %	Выявленные закономерности
	*	328 м — при максимуме солнечной активности	45,4	
		3578 м — при максимуме солнечной активности	54,3	
	F	800 м — при минимуме солнечной активности	48,6	
		2000 м — при минимуме солнечной активности	55,0	
		328 м — при максимуме солнечной активности	38,3	
		3578 м — при максимуме солнечной активности	47,3	
	P	328 м — при максимуме солнечной активности	64,0	
		3578 м — при максимуме солнечной активности	43,2	
От времени суток	F D P	Полдень — полночь (опыты в Тюбингене (ФРГ) с мая по июль 1957 г.)	37,6—40,4 54,7—58,1 36,2—34,0	Заметного различия эффектов в полдень и полночь нет. Однако опыты, проведенные в Брюсселе (август — сентябрь 1958), показали различие для P-теста: 56,3—47,1. Необходимы дополнительные исследования

* Первые цифры — из опытов, проводившихся с июля 1953 г. по апрель 1954 г., вторые — с января по апрель 1954 г.

неэкранированных и экранированных пробирок распределение оказалось асимметричным (при среднем различии, равном 70%), что и указывало на влияние внешних сил электромагнитной природы.

Такое сопоставление по скорости осаждения в экранированных и неэкранированных пробирках ученый и использовал в качестве основного теста для дальнейших исследований, оценивая (в процентах) частоту случаев различия по скорости осаждения

(*T*). Наряду с этим он использовал и модификации этого теста, применяя для растворов не обычную воду, а «активированную» воздействием электромагнитных полей широкого диапазона частот от 10 *гц* до 4 *кгц* (такие поля создавались при скольжении капли ртути в стеклянном шарике, погруженном в воду). В основных опытах с хлористым висмутом применялись три типа тестов, в которых скорость осаждения сопоставлялась при следующих двух условиях:

	I условие	II условие
Р-тест	Нормальная вода Без экранирования	Нормальная вода С экранированием
F-тест	Нормальная вода Без экранирования	Активированная вода Без экранирования
D-тест	Нормальная вода С экранированием	Активированная вода С экранированием

Во всех этих тестах не исключалось влияние различных геофизических факторов (температуры, атмосферного давления, света, космической радиации и др).

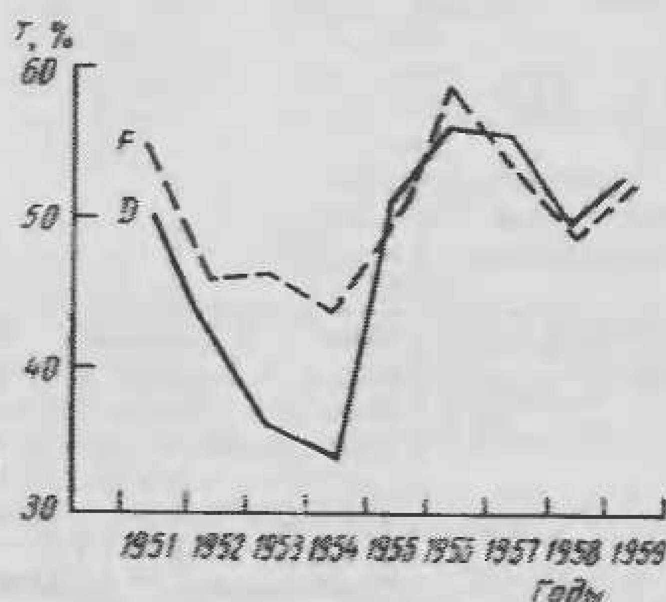


Рис. 89. Сопоставление результатов опытов с D- и F-тестами на протяжении 9 лет

Минимум *T* в 1954 г. совпадает с минимумом солнечной активности

Сначала с помощью этих тестов была проведена серия предварительных исследований для выяснения зависимости эффекта различия в скорости осаждения хлористого висмута от условий эксперимента, а затем — серии основных исследований для изучения зависимости этого эффекта от изменений внешних воздействий во времени. В табл. 16 приведены данные предварительных исследований и некоторые выявленные при этом закономерности.

Основные исследования, проведенные с марта 1951 г. по октябрь 1960 г., включали более 250 тысяч испытаний. Была выявлена зависимость эффектов от солнечной активности, проявлявшаяся в вековых, годовых и короткопериодных вариациях величины эффекта.

Вековые вариации иллюстрирует рис. 89, из которого видно, что минимум для D- и F-тестов (по среднегодовым значениям) отмечается в 1954 г. — в период минимума солнечной активности.

Годовая вариация представлена на рис. 90. Здесь отчетливо выражена периодичность для D-теста с минимумами в марте каждого года. Характерно, что такая же закономерность отмечена и значительно позже — в 1961—1962 гг.; минимумы же в августе не достоверны. В опытах с F-тестом в годы максимальной солнечной активности обнаружены примерно такие же вариации. В годы же редкой активизации Солнца периодичность была такой же, но минимумы отмечались летом, а максимумы — зимой.

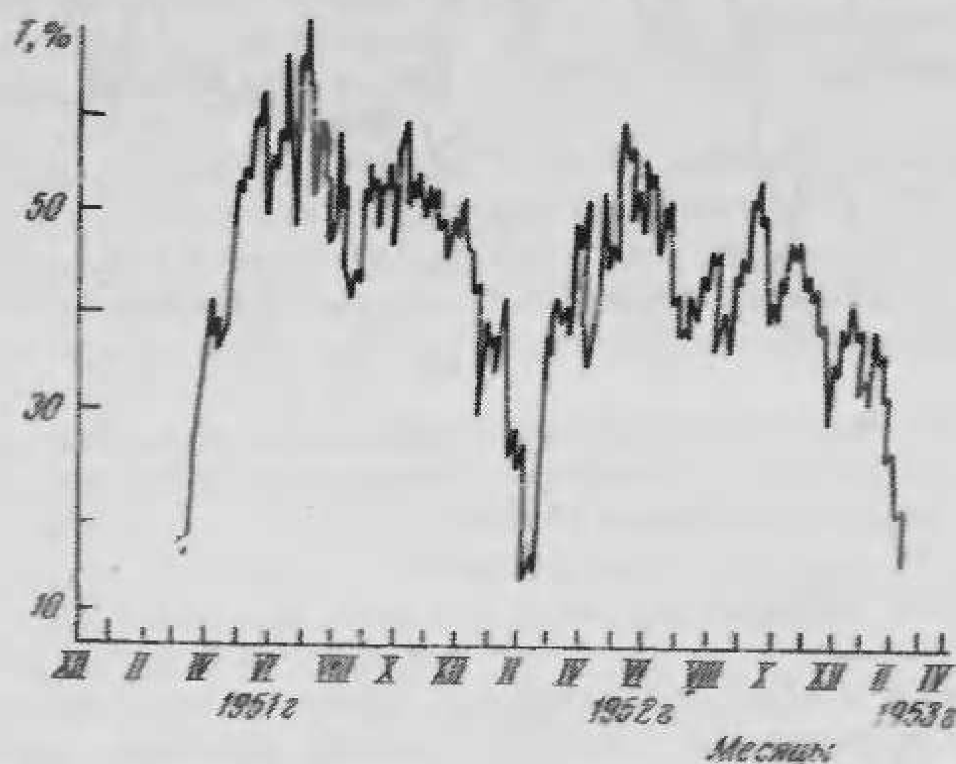


Рис. 90. Результаты опытов с D-тестом в южном полушарии за двухлетний период

Короткопериодные вариации проявлялись в корреляции между эффектом, оцениваемым по D-тесту, и интенсивностью космического излучения, как это показано на рис. 91. А вариации в опытах с F-тестом прекрасно совпадали с солнечными вспышками и магнитными бурями. Исследования вариаций по P-тесту также показали корреляцию с солнечной активностью — положительную при использовании экранирующей камеры и отрицательную при использовании пластины.

С 1960 г. были начаты серии опытов с новым тестом — полимеризацией акрилонитрила (А-тест). Для оценки эффекта сравнивали общий вес полимера акрилонитрила в зачерненной картонной камере и в медной экранирующей камере (по 10 пробирок в каждой камере). В этих опытах было установлено, что процент различия в весе полимера с экранированием и без него варьирует от месяца к месяцу, положительно коррелируя с соответствующими вариациями в опытах с P-тестом. Это означало, что факторы, влияющие на процесс полимеризации и осажде-

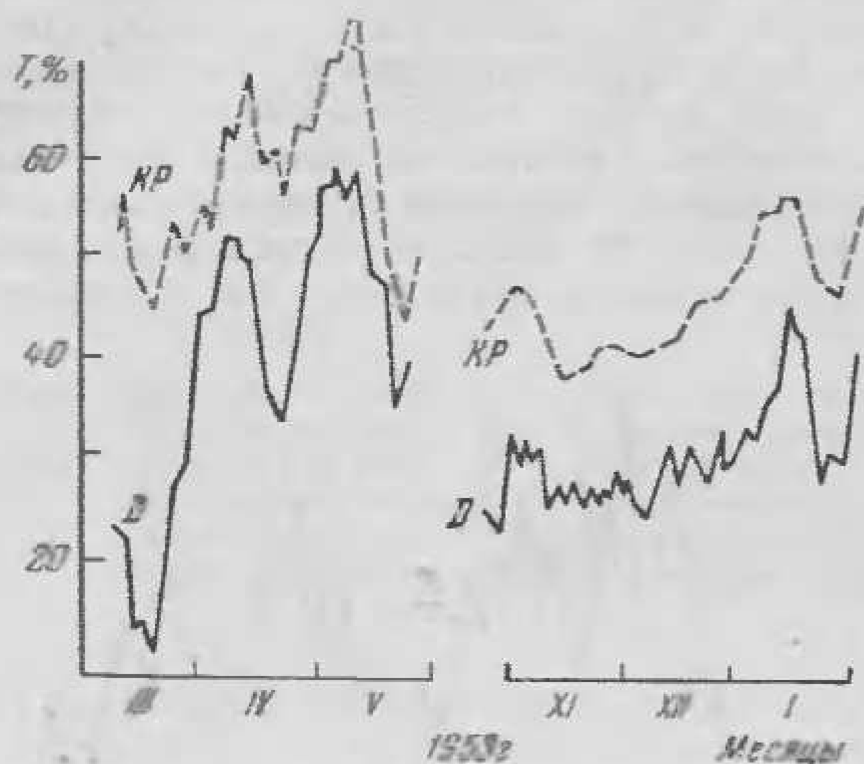


Рис. 91. Сопоставление результатов, полученных в опытах с D-тестом, с изменениями интенсивности космической радиации (КР)

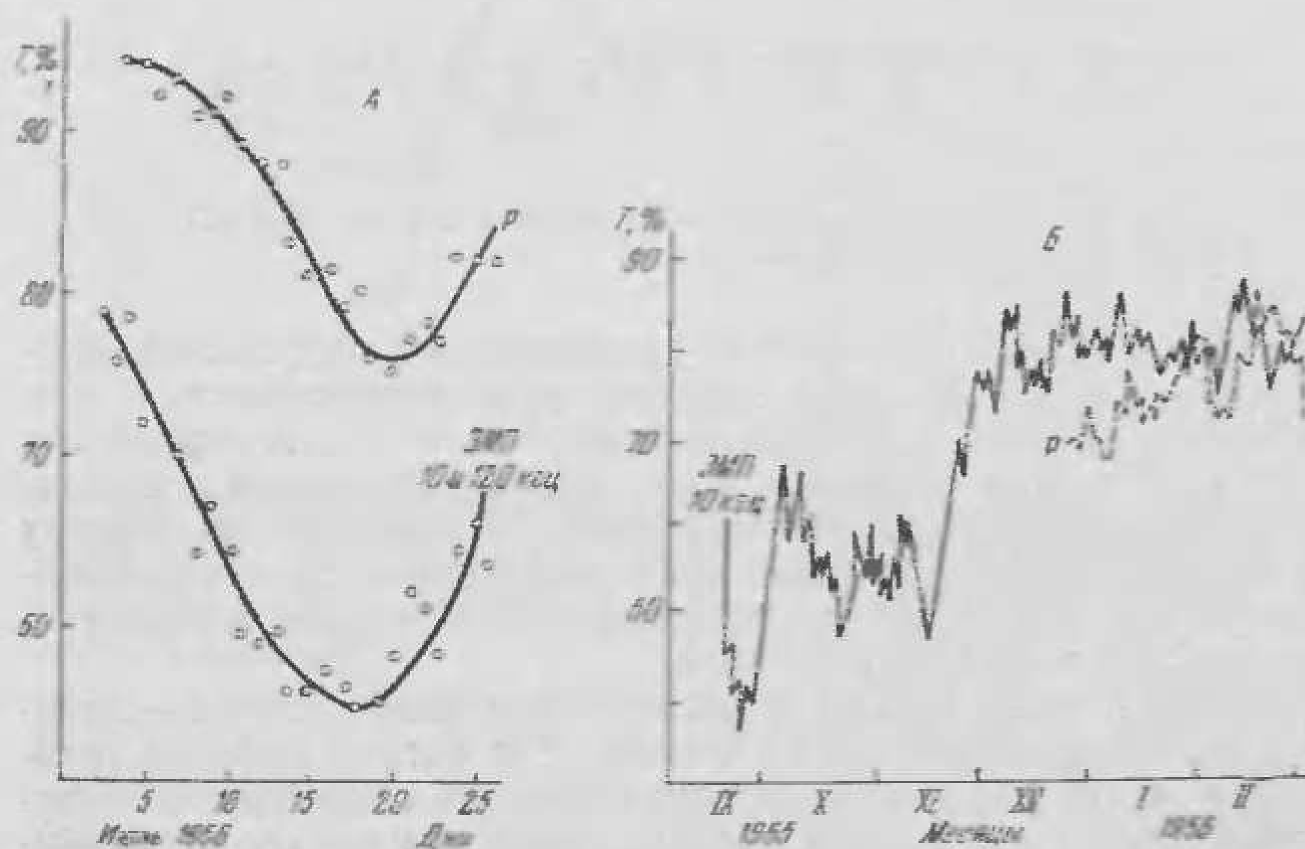


Рис. 92. Сопоставление влияния ЭМП разной интенсивности на скорость осаждения хлористого висмута (тест-пробирки на расстояниях 20 и 2 *м* от источника ЭМП) с результатами, полученными в опытах с Р-тестом

А — на протяжении 20 дней, *Б* — в течение полугода

ние хлористого висмута, по-видимому, одни и те же. А так как процесс полимеризации протекает медленно, эти факторы, очевидно, должны действовать на протяжении длительного времени.

Описанные экспериментальные результаты привели Пиккарди к предположению, что одной из причин наблюдаемых эффектов является влияние ЭМП атмосфериков. И эксперименты с искусственными ЭМП подтвердили эти предположения. Опыты ставились следующим образом: сравнивались скорости осаждения хлористого висмута при нахождении пробирок на расстояниях 2 *м* и 20 *м* от искусственного источника ЭМП с частотой 10 или 120 *кгц*. Иначе говоря, оценивался эффект уменьшения интенсивности воздействующих ЭМП в 100 раз, что эквивалентно экранированию пробирок.

Оказалось, что на расстоянии 2 *м* от источника осаждение происходило заметно медленнее, чем при расстоянии 20 *м*, а вариации этого различия от дня ко дню были такими же, как и соответствующие вариации в опытах с Р-тестом (рис. 92, *А*). Такая корреляция прослеживалась на протяжении ряда месяцев, как это иллюстрирует рис. 92, *Б*.

Влияние искусственных ЭМП с частотой 10 *кгц* исследовалось и в опытах с полимеризацией. Такое влияние было обнаружено, причем его вариации коррелировали с соответствующими вариациями в опытах с Р-тестом. Однако из результатов опытов следовало, что имеют место и влияния каких-то внешних сил, проявляющиеся и при экранировании.

Многолетние исследования привели Пиккарди к выводу, что наблюдаемые эффекты обусловливаются влиянием ЭМП атмосфериков и какими-то еще более сильными воздействиями на воду, в которой происходят химические процессы. А если это так, то следует ожидать влияния этих факторов на биологические процессы. Это предположение подтверждается опытами с различными биологическими тестами. Так, например, коагуляция крови человека в экранированных капсулах (0,1 *мм* меди) происходила медленнее, чем в неэкранированных, и это различие коррелировало с соответственным различием в опытах с химическим Р-тестом (осаждение хлористого висмута); подобный эффект наблюдался и в замедлении скорости седиментации эритроцитов крови кролика; установлено влияние экранирования на развитие бактериальных культур (стафилококков и кишечных палочек).

Анализируя результаты своих многочисленных исследований, Пиккарди приходит к общему заключению о том, что живые организмы и окружающая их среда подвержены влиянию различных космических факторов. Исходя из однотипности наблюдавшихся реакций неорганических и биологических коллоидов на космические воздействия, он полагает, что реагирующим компонентом живых организмов является «неживой субстрат» — вода и коллоиды.

Мы еще обсудим ниже, в какой мере представляется правомерной такая концепция, а здесь приведем только те выводы Пиккарди, которые прямо или косвенно относятся к проблеме биологического действия природных ЭМП.

1. Наблюдаемую невоспроизводимость — флуктуации различных процессов в живых системах и неорганических коллоидных системах — нельзя объяснить ни погрешностями эксперимента, ни влиянием обычно учитываемых геофизических факторов (температуры, давления, влажности и т. д.). Эти флуктуации обусловлены биотропным влиянием космических сил электромагнитной или корпускулярной природы — электромагнитными излучениями космического и земного происхождения, вариациями электрических и магнитных полей Земли, солнечной активностью со всеми ее проявлениями и, возможно, какими-то еще не выявленными космическими факторами.

2. Периодичность, или цикличность, флуктуационных явлений связана со спиральным движением Земли в Галактике. На основе такого движения можно объяснить 27-дневные, 135-дневные и другие периодические вариации, наблюдаемые в опытах с химическими и биологическими тестами, связь этих вариаций с солнечной активностью, зависимость этих вариаций от географической широты и т. д.

3. Флуктуационные явления в гетерогенных, неравновесных, термодинамически открытых системах (как биологических, так и неорганических) связаны с процессами, происходящими не на атомном и молекулярном уровне, а на уровне более крупных и сложных гетерогенных образований, где весьма малые энергетические внешние воздействия могут вызывать значительные эффекты.

4. К механизмам внешних воздействий на такие системы следует подходить, учитывая структурные особенности воды, растворов и водных коллоидных систем. Возможности геометрических и энергетических вариаций в таких системах поистине безграничны. Для изучения механизма влияния электромагнитных излучений и вариаций электрических и магнитных полей на эти системы необходимо выявить, насколько чувствительны к этим воздействиям отдельные элементы систем.

5. Необходимо различать воздействия электромагнитной и корпускулярной природы. Частицы воздействуют хаотично и спорадично, только на некоторые части организма, тогда как воздействие ЭМП охватывает весь организм — оно «тотально» в том смысле, что имеет силу при любых обстоятельствах.

Экспериментальные данные и теоретические соображения Пиккарди получили дальнейшее развитие в работах других итальянских ученых (Maleffo, Valfre, 1966; Masoero et al., 1966), которые рассматривают ЭМП внешней среды как экологические факторы, оказывающие существенное влияние на процессы жиз-

недеятельности организмов — на формирование фенотипа, на процессы размножения, на регуляцию численности популяций, на усвоение питательных веществ организмами и т. д. Такое влияние может быть непосредственным — на целостный организм, органы, ткани, клетки, макромолекулы; оно может быть и опосредованным через воздействие на растения и воду, потребляемые животными.

В многочисленных исследованиях (Aghina et al., 1965; Caramello et al., 1965; Cellino Tosi et al., 1965; Maletto et al., 1965а, 1965б, 1965в, 1966а, 1966б; Masoero et al., 1965, 1966 и др.) были получены данные, в той или иной мере свидетельствующие в пользу этой концепции:

1. При статистическом обследовании 89 712 случаев оплодотворения коров было установлено, что плодовитость положительно или отрицательно коррелирует с изменениями солнечной активности (выражаемой в числах Вольфа). Авторы полагают, что основную роль в этом влиянии играют низкочастотные ЭМП внешней среды.

2. При экранировании растений, обычно применяемых для кормления сельскохозяйственных животных (с сохранением нормальными прочих воздействий внешней среды), отмечено существенное понижение азотного обмена. Авторы рассматривают этот эффект как результат уменьшения влияния низкочастотных ЭМП на растения.

3. Воздействие статическими и низкочастотными полями в лабораторных условиях на морских свинок приводило к прогрессивной эритроцитопении, частичной лейкопении и повышению содержания гемоглобина. Наряду с этим отмечалось появление незрелых форм эритроцитов, которое, по мере продолжения воздействия, становилось все более распространенным и частым.

4. На вымя коровы дважды в день (после утренней и вечерней дойки) воздействовали медленно изменяющимся магнитным полем, создаваемым при вращении постоянного магнита. После ряда таких воздействий отмечены существенные изменения в жирности молока, связанные с увеличением или уменьшением углеводородных цепей жирных кислот.

5. Если животных (мышей, морских свинок, цыплят) поили водой, «активированной» низкочастотными полями, то отмечалось уменьшение привеса в процессе роста, увеличение задержки воды в некоторых органах (сердце, селезенке, белых мышцах) и повышенное содержание ненасыщенных жирных кислот в жировых отложениях.

Анализируя эти экспериментальные результаты, а также многочисленные данные, полученные другими исследователями, Малетто и Вальфре (Maletto, Valfre, 1966) приходят к выводам, согласным с заключениями Пиккарди. Они полагают, что влияние естественных и искусственных ЭМП на животных и растения,

но и на целостные организмы обусловлено непосредственным воздействием полей на биохимические процессы и, в первую очередь, на структуру воды, в которой эти процессы протекают.

Такой механизм представляется нам вероятным, но не единственно возможным, особенно когда речь идет о реакции сложных организмов на ЭМП. Непосредственные эффекты ЭМП на молекулярном уровне могут рассматриваться как основная (хотя и не единственная) причина влияния этих полей на жизнедеятельность одноклеточных организмов, на растения и, наконец, на примитивные многоклеточные организмы (обычно обитающие в водной среде). Однако даже у этих организмов, а тем более у сложно организованных, обладающих высокоразвитой системой централизованного управления, зависимость процессов жизнедеятельности от изменений ЭМП внешней среды нельзя отнести только за счет непосредственных эффектов на молекулярном уровне. Более вероятным представляется влияние ЭМП на те или иные макроскопические системы, составляющие сложную схему иерархической регуляции и взаимосвязей в организме.

11.5. О механизмах влияния природных ЭМП на жизнедеятельность организмов

Как мы видели, природные ЭМП внешней среды оказывают на живые организмы либо регулирующее воздействие, способствуя нормальному протеканию процессов жизнедеятельности, нормальному взаимодействию организмов с внешней средой, либо нарушающее воздействие, приводящее к тому или иному отклонению этих процессов и взаимодействий от нормы. Регулирующее воздействие оказывают периодически (или циклически) изменяющиеся ЭМП; оно проявляется как в соответствующей синхронизации биологических ритмов, так и в пространственной ориентации организмов. Спорадические изменения ЭМП в той или иной степени нарушают процессы жизнедеятельности, особенно заметно при развитии и при патологических состояниях организмов.

Возможные механизмы такого рода воздействий естественных ЭМП можно обсудить на основе экспериментального материала, рассмотренного в этой главе, и сопоставлений с результатами исследований биологических эффектов искусственно создаваемых ЭМП соответствующих частотных диапазонов (Пресман, 1965а, 1965б, 1967а, 1967б, 1967в).

Анализируя основные особенности реакций целостных организмов различных видов на искусственно создаваемые ЭМП, мы сталкивались с существенным различием в характере *нарушений регуляции* физиологических процессов при воздействии ЭМП на центральные и на периферические системы. Периферические системы быстро реагируют на ЭМП с любыми параметрами, тогда как центральные системы заметно реагируют только на ЭМП

малых интенсивностей и при этом со значительным латентным периодом.

Иное дело, когда мы рассматриваем вопрос о *регулирующем влиянии* природных ЭМП; к их воздействию организмы должны быть эволюционно приспособлены, а следовательно, должны обладать системами, избирательно реагирующими только на те ЭМП, которые вносят полезную информацию, и защищающимися от спорадических изменений ЭМП. Кстати, в свете упомянутого выше определения Зальцберга последние воздействия являются скорее шумами, чем помехами. Резонно предположить, что полезная информация воспринимается центральными системами, координирующими жизненные процессы в соответствии с закономерными изменениями во внешней среде. Как уже подчеркивалось, природные ЭМП представляются наиболее подходящим носителем такой информации. А если это так, то центральные системы должны быть весьма узкополосными и по частоте и по амплитуде, а следовательно, инерционными, благодаря чему они будут обладать способностью к накоплению электромагнитной информации. Периферические же системы, эволюционно приспособленные к восприятию всех воздействий со стороны внешней среды (без этого организмы не могли бы существовать) и обеспечивающие «фильтрацию» полезных сигналов от вредных, должны обладать противоположными свойствами: малой инерционностью и широкополосностью как по частоте, так и по амплитуде.

Приняв эту концепцию, мы неизбежно придем к выводу, что такая дифференциация возникла уже на первых этапах эволюции — у одноклеточных организмов. Ведь уже у этих организмов обнаружены «биологические часы», согласующие ритмику биологических процессов с периодическими изменениями во внешней среде, ведь уже эти организмы способны ориентироваться по магнитному и электрическому полям Земли, ведь жизненные функции этих организмов нарушаются как при спорадических изменениях природных ЭМП, так и в условиях, когда интенсивность периодических воздействий таких полей искусственно понижена. Правда, периферическая возбудимая структура одноклеточных еще весьма несовершенно защищает их от вредного воздействия ЭМП: не только магнитное поле, но и низкочастотные ЭМП атмосфериков могут проникать внутрь клетки, к ее «центральным системам» — ядру и органеллам. С другой стороны, водная среда, в которой в основном обитают одноклеточные, защищает их от воздействия более высокочастотных ЭМП. Наконец, активная защита может осуществляться и в силу различия в инерционности систем: периферическая — быстро реагирующая — успевает «предупредить» медленно реагирующую центральную о вредном воздействии, а, следовательно, дает последней возможность защититься «внутренними средствами» — понижением чувствительности к ЭМП.

В многоклеточных организмах по мере все большей дифференцировки тканей и формирования нервной системы избирательная реакция и защита центральных систем становится все более совершенной и многосторонней. Хотя (как считают многие ученые) и в сложных организмах, вплоть до высших млекопитающих, сохраняется еще автономная внутриклеточная регуляция основных биологических ритмов, но у них развивается уже многоступенчатая центральная регуляция ритмичности физиологических процессов, согласованной с периодически изменяющимися факторами внешней среды. Информацию из внешней среды в такие организмы могут передавать не только периодически изменяющиеся электрические и магнитные поля Земли. Ее могут нести, по-видимому, и периодически изменяющиеся по интенсивности ЭМП атмосфериков и радиоизлучения Солнца. Вместе с тем центральные управляющие системы сложных организмов надежно защищены от помех со стороны спорадически изменяющихся ЭМП всех частотных диапазонов.

Пока еще нет достаточных экспериментальных или теоретических оснований для определенных заключений о принципиальных схемах биологических систем, воспринимающих ЭМП-информацию из внешней среды и осуществляющих защиту организма от электромагнитных помех. В этом отношении приходится ограничиться только общими соображениями. Так, можно предполагать, что в основе высокой чувствительности организмов к слабым ЭМП внешней среды могут лежать механизмы пространственной и временной суммации, когда сигналы воспринимаются одновременно n элементами или принимаются n-кратно повторяющиеся сигналы. Как мы упоминали во введении, в этих случаях отношение сигнала к шуму (или помехам) возрастает в $\sqrt{n}$ раз.

Такой механизм мог бы обеспечить синхронизацию биологических часов с суточно-периодическими изменениями ЭМП внешней среды, которые можно рассматривать как «дифференциальный» датчик времени. Другим, «импульсным», датчиком биологических ритмов может служить повторяемость слабых магнитных бурь с 27-дневной цикличностью. И наконец, 11-летняя и сезонная цикличность в поведении и функционировании организмов может регулироваться соответствующими изменениями уровня магнитной активности — «пропорциональным датчиком».

Рассматривая корреляцию между нарушениями физиологических процессов и повышениями интенсивности ЭМП в периоды солнечных вспышек, необходимо учитывать то обстоятельство, что интенсивность ЭМП одного типа возрастает практически одновременно с солнечными вспышками, а интенсивность ЭМП другого типа со значительным запаздыванием: одновременными (через 9,5 *мин.* после вспышки) являются «всплески» радиоизлу-

чений Солнца и внезапные усиления атмосфериков, а запаздывающими (до 26 *час.* после вспышки) — магнитные бури.

Выше были приведены доказательства непосредственного влияния и искусственных, и природных ЭМП на белковые растворы, на коллоидные системы и, наконец, на воду. Как это может сказаться на жизненных функциях организмов? Что касается одноклеточных организмов, то они могут непосредственно реагировать на изменения в водной среде, и более того, под действием ЭМП могут происходить какие-то изменения в самой протоплазме. В сложных организмах периодические и спорадические изменения природных ЭМП, хотя и могут непосредственно воздействовать на жидкие среды организма, но вряд ли приводят к заметному нарушению гомеостаза. Не исключена, однако, возможность опосредованного влияния таких воздействий на сложные организмы в тех случаях, когда эти последние потребляют воду или одноклеточные организмы, предварительно подвергнутые «активации» или «дезорганизации» воздействием ЭМП. Мы уже упоминали о том, что животные, получавшие воду, «активированную» воздействием ЭМП с частотой 10 *кгц*, теряли в весе по сравнению с контрольными (получавшими обычную воду) и что подобные изменения наблюдались также и у их потомков, получавших обычную воду. Характерно, что и в первом, и во втором случае эффект был особенно выраженным в период солнечной активности (Valfre et al., 1964).

В заключение упомянем о некоторых гипотезах по поводу влияния ЭМП внешней среды на ритм биопотенциалов мозга.

Недавно было обнаружено, что микропульсации магнитного поля Земли происходят в диапазоне частот от 0,01 до сотен герц. Беккер (Becker R., 1963б) обратил внимание на то, это эти пульсации наиболее выражены в диапазоне 8—16 *гц*, и высказал предположение о возможной связи альфа-ритма электрической активности мозга с этими микропульсациями. Обнаружен (Herron, 1965) и другой выраженный диапазон частот микропульсаций — от 0,029 до 0,031 *гц*, что соответствует сверхмедленным колебаниям потенциалов головного мозга. Конечно, сопоставления такого рода сами по себе не могут служить основанием для определенного заключения о связи между этими двумя явлениями, однако нельзя априорно отбрасывать такую возможность, учитывая совпадение общего частотного диапазона магнитного поля и общего диапазона частот колебаний биопотенциалов (от сверхмедленных в головном мозге до частотного спектра импульсов в нервах).

Что же касается возможности влияния внешних ЭМП на альфа-ритм, то следует упомянуть результаты опытов с людьми (Винер, 1963), находящимися под воздействием ЭМП с частотой, близкой к 10 *гц*. У испытуемых возникало неприятное ощущение, подобное тому, какое отмечалось ранее под действием

прерывистого света с частотой 10 *гц*. При обоих видах воздействия в альфа-ритме преобладали колебания такой же частоты.

Итак, представляется вероятным, что влияние естественных ЭМП на живые организмы, как регулирующее, так и нарушающее, связано с двумя причинами: во-первых, эти поля непосредственно воздействуют на биохимические процессы, протекающие в организме, и, во-вторых, они воздействуют на периферические и центральные системы организма, обеспечивающие регуляцию процессов жизнедеятельности в соответствии с изменениями во внешней среде. И если влияние ЭМП на простейшие организмы связано, по-видимому, с обеими причинами, то влияние на высокоорганизованные — преимущественно со второй. В обоих случаях мы сталкиваемся с высокой чувствительностью реагирующих систем к весьма слабым естественным ЭМП. По-видимому, само функционирование этих систем связано с электромагнитными процессами, которые так или иначе видоизменяются под действием внешних ЭМП. О таких электромагнитных процессах, участвующих в регуляции процессов жизнедеятельности организма, и будет идти речь в следующей главе.

Глава 12

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ВНУТРИ ОРГАНИЗМА И ИХ РОЛЬ В РЕГУЛЯЦИИ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Как мы уже видели, у всех видов живых существ и на всех уровнях функционирования организма проявляется высокая чувствительность к ЭМП различных частотных диапазонов. С другой стороны, опыт физиологии показывает, что деятельность любой центральной или периферической системы организма и осуществление информационных взаимодействий в организме неразрывно связаны с электромагнитными колебаниями, частотный диапазон которых простирается от инфранизких до низких частот. С каждым годом ученые обнаруживают все более высокочастотные компоненты таких колебаний и открывают новые системы «электромагнитного регулирования» в организме на самых различных уровнях организации — от молекулярного до организма в целом.

Все это привело к предположению (Пресман, 1964в), что в многообразных процессах регулирования и взаимосвязей внутри организма существенную роль играют ЭМП самых различных частотных диапазонов.

12.1. Электромагнитные системы регуляции в живых организмах

У самых различных организмов мы встречаем системы регуляции, функционирование которых связано с электромагнитными колебаниями. Приведем по этому поводу несколько строк из книги Вулдриджа (1965): «В нервной системе низших животных можно найти много примеров нейронных цепей, вырабатывающих периодические сигналы для регулирования ритмических функций организма... Интересный пример нейронной колебательной цепи мы находим у омара. Цепь состоит здесь из 9 нейронов, соединенных в кольцо, и генерирует электрические импульсы, управляющие сокращением сердца... Пение цикады определяется осцилляторомь, находящимся в головном мозгу насекомого. Здесь в цепь введено новое усовершенствование — генератор нижней гармоники. Частота центрального механизма составляет 200 импульсов в секунду, тогда как нейронное устройство в мышцах звуковоспроизводящего аппарата стимулирует их всего лишь 100 раз в секунду. У многих животных нейронные осцилляторы обусловливают ритмы, связанные с хождением, плаванием или полетом. Брюшные ножки речного рака, крылья саранчи и мускулатура дождевого червя, с помощью которой он ползает, управляются из центра».

Эти примеры можно продолжить, указав на более сложную систему электромагнитной регуляции ритма сердца у позвоночных, на многообразные электромагнитные колебательные системы головного мозга, управляющие и ритмикой поведения и ритмами физиологических процессов, и т. д. Нет нужды останавливаться на характеристике всех этих хорошо известных управляющих систем, но необходимо указать на один принципиальный факт — наличие в организмах двух типов таких систем. Этот вопрос достаточно глубоко рассмотрен в монографии Аладжаловой (1962), и мы считаем целесообразным привести здесь некоторые сделанные ею обобщения и выводы.

1. «Уже на уровне одноклеточного организма можно выделить две управляющие системы — быстродействующую и медленную. Деятельность быстродействующей системы, например у инфузории, проявляется в ударах ресничек в ответ на случайные факторы среды, на кратковременные воздействия. Деятельность медленной системы проявляется в наличии автоколебательного процесса на мембране клетки, причем в такт с ритмическими колебаниями потенциала меняется возбудимость клеток и соответственно согласованность биения ресничек. Задачей медленной системы является обеспечение устойчивости целого организма, сохранение его состояния в широком классе внешних воздействий».

2. «По скоростям регуляций в центральной нервной системе теплокровных могут быть выделены быстродействующая и медленная управляющие системы. В ведении первой находятся быстрые реакции на раздражение, из которых многие уже изучены, например реакции типа ориентировочной и др. Вторая система, медленная, оценивая более или менее систематически действующие факторы среды, перестраивает уровень деятельности организма в связи с регуляцией гомеостазиса. Медленная система воздействует на параметры быстродействующей».

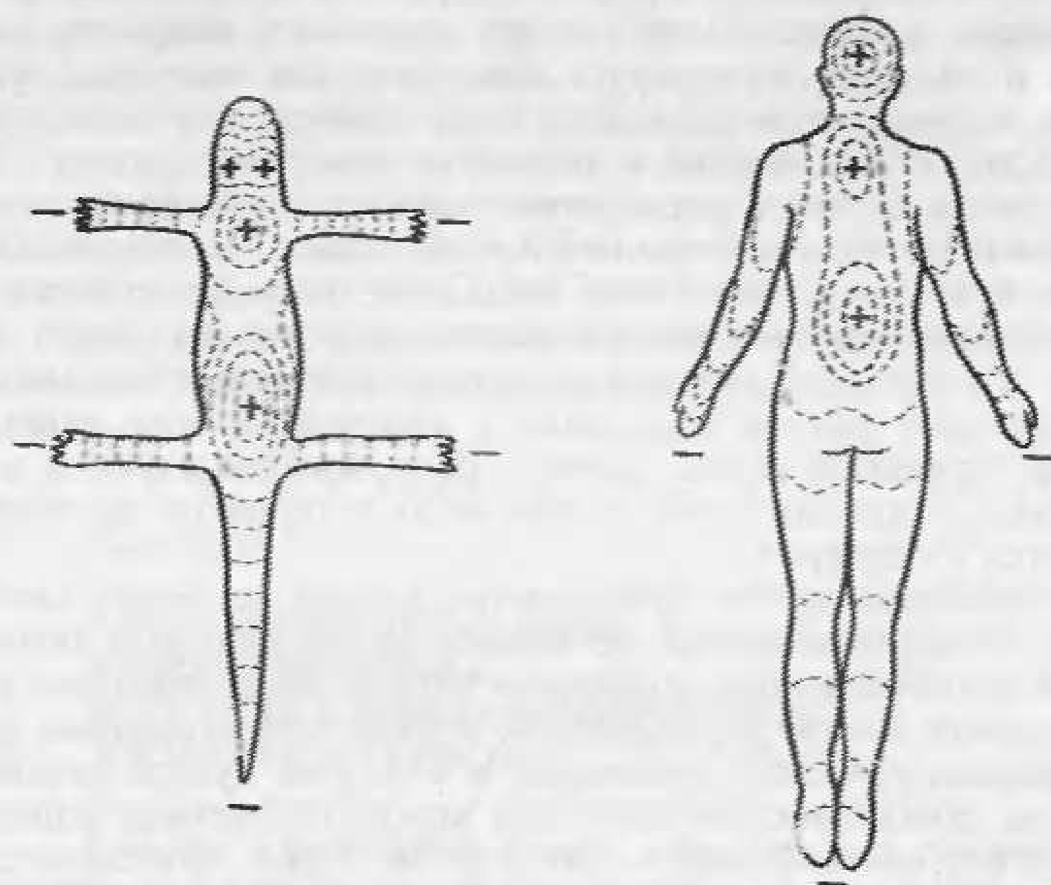


Рис. 93. Распределение поверхностного электрического потенциала по телу ящерицы и человека

3. «Одним из признаков медленной управляющей системы является то, что она не реагирует на малозначащее однократное (случайное) внешнее возмущение. Ее реакция на фактор среды, действующий более или менее систематически, осуществляется в течение нескольких часов и может быть направлена не только на преодоление вызванных сдвигов во внутренней среде, но и на активную перестройку уровня деятельности с учетом возможного действия нового фактора».

Легко видеть, что высказанные нами предположения о различии в реакции центральных и периферических систем на ЭМП являются по существу, приложением этих общих выводов Аладжаловой к определенного типа внешним воздействующим факторам — природным ЭМП. В самом деле, быстрая реакция перифе-

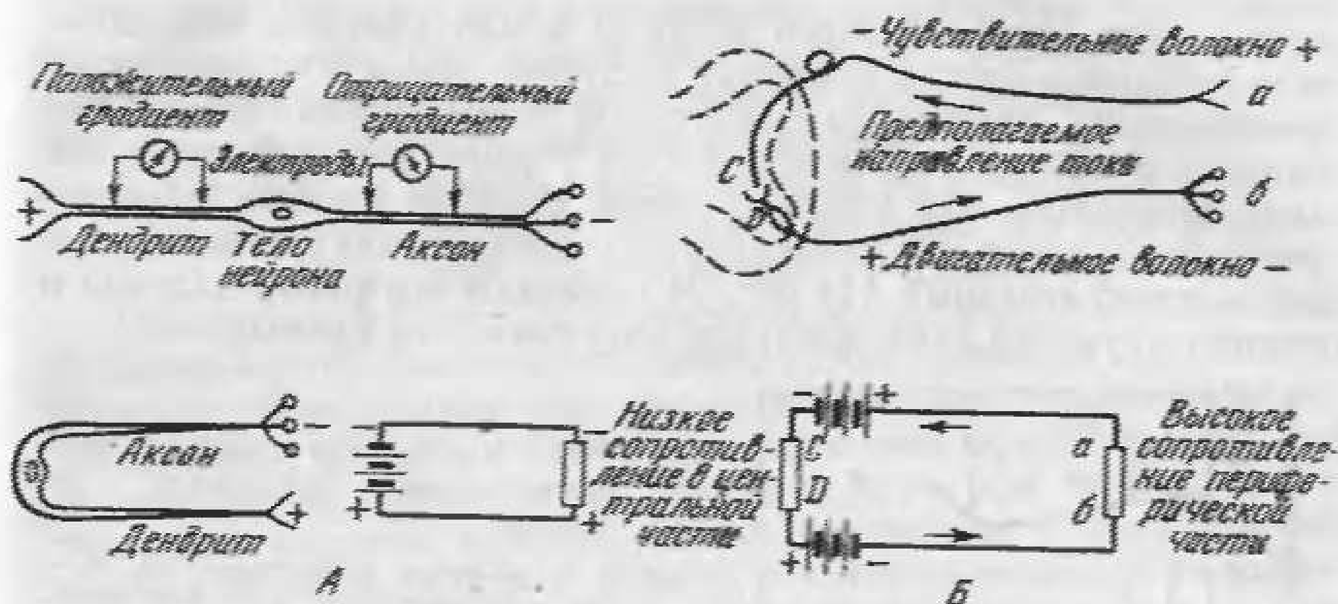


Рис. 94. Распределение потенциала вдоль нейронов спинного мозга и соответствующие эквивалентные электрические схемы

А — для нейрона, Б — для нервного центра спинного мозга

рических систем на кратковременные воздействия ЭМП — это свойство быстродействующих систем, а инерционная реакция центральных систем, ее двухфазная зависимость от интенсивности и продолжительности воздействия ЭМП — это свойства медленной системы. Наряду с этим мы рассмотрели еще одно важное свойство этих систем — пассивную и активную защиту от воздействий ЭМП, не адекватных центральным системам.

Аладжалова приводит перечень самых различных структур, в которых происходят автоколебания, сопровождающиеся сверхмедленными колебаниями потенциала. Здесь мы встречаем парамеций и корни бобовых растений, гладкие мышцы беспозвоночных и скелетные мышцы лягушки, дендриты и клетки ганглия моллюска, ядра гипоталамуса и кору больших полушарий мозга.

Этот перечень не исчерпывает, конечно, все электромагнитные управляющие системы, которые существуют в живых организмах. Это показывают открытия, сделанные в последние годы.

Медленная система электромагнитного управления была открыта недавно американскими учеными (Becker et al., 1962; Friedman et al., 1962). При исследовании поверхностных потенциалов у позвоночных вместо ранее предполагавшейся дипольной симметрии эквипотенциальных линий найдено распределение, связанное с расположением крупных частей центральной нервной системы (рис. 93). Высказано предположение, что в спинном мозге генерируется постоянный ток, протекающий по выходящим оттуда нервам. И действительно, перерезка спинного мозга приводила к резкому изменению потенциала на конечности, а перерезка идущего в конечность нерва сводила потенциал к нулю. Дальнейшие исследования с использованием эффекта Холла по-

казали, что вдоль нервного волокна в направлении дендрит — тело нейрона — аксон проходит постоянный ток, обусловленный, по-видимому, движением электронов вдоль нерва (тогда как биотоки в нервах возникают за счет радиального движения ионов). Оказалось, что чувствительные нервные волокна на периферическом конце имеют положительный потенциал, а двигательные — отрицательный. На рис. 94 показаны эти распределения и соответствующие эквивалентные электрические схемы.

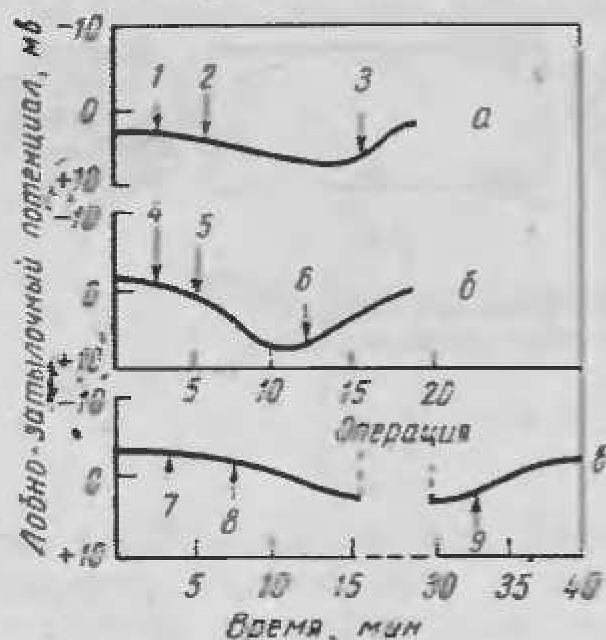


Рис. 95. Характер изменений лобно-затылочного потенциала у человека

а — во время нормального сна, *б* — при гипноанельгезии, *в* — под наркозом. *1* — закрытые глаза, *2* — ритмичное глубокое дыхание, *3* — пробуждение, *4* — начало и конец «гипнотического света», *5* — начало гипноанельгезии, *6* — начало света на пробуждение, *7* — введение пентобарбитала, *8* — введение закиси азота, *9* — прекращение подачи закиси азота

Далее было обнаружено, что при повреждении конечности вдоль спинного мозга распространяются медленные изменения потенциала, которые вызывают активную реакцию мозга примерно через 2 сек. после нанесения травмы. Наконец, было установлено однотипное изменение лобно-затылочного потенциала у человека во время нормального сна, при гипнозе с внушением обезболивания (гипноанельгезия) и во время общего наркоза. На рис. 95 приведены соответствующие кривые.

На основе этих данных авторы высказали следующие предположения:

1. Наряду с быстрой системой передачи информации по нервам в организме позвоночных существует и медленная электрическая управляющая система, связанная с прохождением по нервам медленно изменяющегося тока.

2. Эта медленная система регулирует активность быстрой и, в частности, скорость распространения биопотенциалов. Кроме того, эта система передает медленную информацию о боли и, по-видимому, связана с психическими функциями. Можно предположить, что такая система сформировалась еще на ранних стадиях эволюции нервной системы.

3. Медленная система, возможно, контролирует общее поведение животных и через нее осуществляется воздействие на организмы магнитного и электрического полей Земли, а также изменения концентрации аэроионов.

Другая управляющая электромагнитная система обнаружена в ганглии омара (Watanabe, Bullock, 1960): медленное изменение мембранного потенциала одной из крупных клеток ганглия модулирует активность нейронов (изменяя частоту разрядов), расположенных в окрестности ганглия на расстоянии до нескольких миллиметров от него. Отметим, что здесь мы уже встречаемся с дистанционной электромагнитной взаимосвязью.

Исходя из данных гармонического анализа альфа-ритма биопотенциалов головного мозга, Винер (1963) высказал следующую гипотезу: «Представим себе, что мозг содержит ряд генераторов с частотами, близкими к 10 *гц*, и что в некоторых пределах эти частоты могут притягиваться друг к другу. При таких обстоятельствах частоты, вероятно, будут собираться в одну или несколько групп, по крайней мере на некоторых участках спектра».

Иллюстрацией подобного «затягивания» частот могут служить результаты недавних опытов с изолированными клетками сердечной мышцы (Harrary, 1962). Было обнаружено, что в то время как каждая клетка обладает своим индивидуальным ритмом пульсации, совокупность клеток пульсирует с одной частотой, задаваемой «клеткой-лидером», имеющей наибольшую частоту пульсации.

Наряду с открытием новых электромагнитных систем регуляции расширяются представления и в отношении давно уже изучаемых систем такого рода. Так, установлено (Franke et al., 1962), что сердце человека генерирует электрические колебания в значительно более широком диапазоне частот, чем это было известно ранее, а именно от 30 до 700 *гц*; при патологических изменениях (патологической ишемии) наиболее выраженные сдвиги отмечаются в высокочастотной части спектра колебаний. Обнаружены высокочастотные компоненты и в электрической активности мозга (Trabka, 1963) — в пределах 200—500 *гц* [1]. Эти компоненты заметно изменяются при барбитуратовом наркозе.

Все большее число экспериментальных и теоретических данных накапливается в отношении колебательных явлений на молекулярном и надмолекулярном уровнях в химических и биологических системах. Этим вопросам был посвящен прошедший недавно специальный симпозиум («Колебательные процессы в биологических и химических системах», 1967). В ряде докладов (Франк-Каменецкий, Шноль, Жаботинский, Сельков и др.) рассматривались экспериментальные данные о колебаниях в различных химических реакциях и биологических системах, обсуждались теоретические модели этих колебательных процессов и гипотезы по поводу их механизмов. Докладчики подчеркивали, что изучение таких колебательных процессов играет весьма важ-

[1] Во время подготовки книги появилось сообщение Б. М. Нуделя (II Всесоюзн. конф. по нейрокибернетике, 7—12 сент. 1967 г., стр. 105) об открытии еще более высокочастотных колебаний — до 100 *кгц*.

кую роль в выяснении физико-химической природы ряда биологических явлений — мышечного сокращения, регуляции клеточного деления, механизма биологических часов, фотосинтеза, гликолитического обмена, различных фермент-субстратных реакций и т. д.

Для нас важно отметить тот факт, что колебания в химических реакциях и биологических системах всегда связаны с электромагнитными колебательными процессами (а в ряде случаев и обусловливаются этими процессами). Нет сомнений в том, что прогресс в изучении колебательных явлений на молекулярном уровне значительно расширит наши представления о многообразии электромагнитных регуляторных систем и взаимосвязей, существующих в живых организмах.

Итак, экспериментальные данные о чувствительности органов, клеток и макромолекул к ЭМП разных частотных диапазонов, о генерации таких полей в этих системах и, наконец, о некоторых электромагнитных связях между ними — все это указывает на правомерность предположения о существовании в живых организмах многообразных взаимосвязей посредством ЭМП. Речь идет не об известных уже способах передачи информации по нервам с помощью биоэлектрических импульсов, а о своеобразной «радиосвязи»[2] между различными элементами и системами внутри организма.

На основе этого предположения можно было бы подойти к рассмотрению не выясненной пока физической природы некоторых взаимосвязей между клетками и макромолекулами в организме.

12.2. О возможных взаимосвязях посредством ЭМП в живых организмах

Одной из важных нерешенных проблем биологии являются причины, побуждающие клетки направленно перемещаться в организме, а также причины избирательного взаимодействия на расстоянии между сходными клетками. Эта проблема детально рассмотрена в работах Вейсса (1961а, 1961б), который обсуждает следующие вопросы:

1. ...«почему свободная клетка, которая казалось бы, могла распространяться во многих направлениях, часто упорно движется только в одном направлении, пренебрегая всеми другими?» Рассматривая гипотезы о роли в этих явлениях всевозможных «тропизмов» и градиентов, Вейсс указывает, что «ни разу не удалось выяснить, как клетка использует эти направляющие сигналы для движения к их источнику или от него».

---

[2] Конечно, термин «радиосвязь» в данном случае условен, так как взаимосвязи предполагаются не только в радиочастотном диапазоне, но и с помощью ЭМП низких и даже инфранизких частот.

2. Указывая на то, что клетки «узнают» друг друга и окружающую их среду и могут находить «места своего назначения» в организме даже при отсутствии тех путей, по которым они обычно туда попадают, и что клетки группируются по типам и активно сохраняют эту группировку не только в организме, но и в

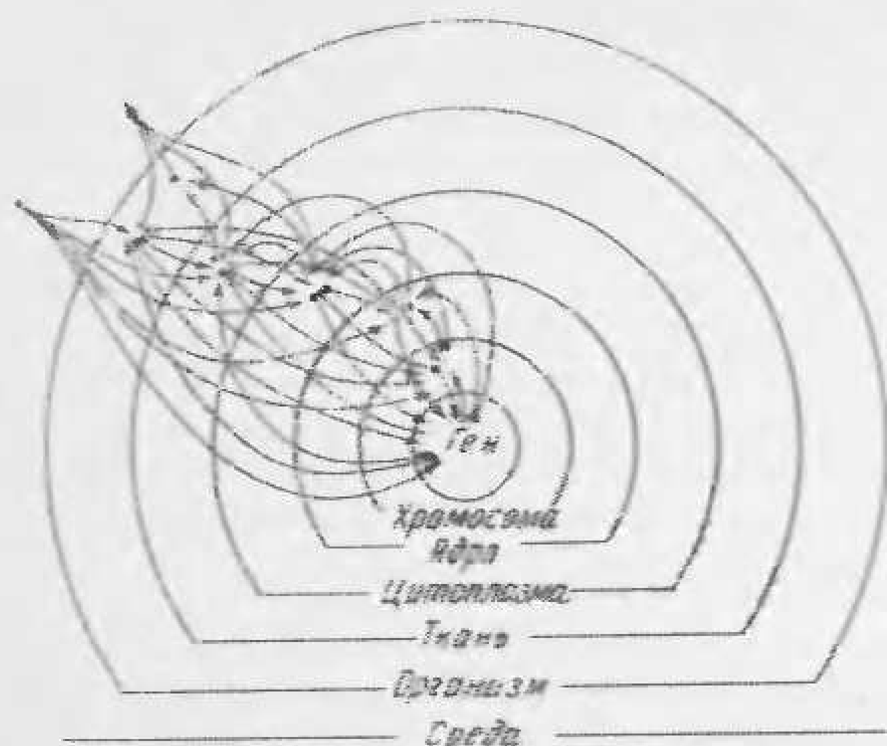


Рис. 96. Схема сложной сети возможных взаимодействий в организме

опытах in vitro, Вейсс ставит вопросы: «Каким способом в клеточной популяции осуществляется эта перегруппировка? Может быть, сходные клетки «притягивают» друг друга? Или они «узнают» друг друга только после случайного сближения?

3. Отмечая, что в избирательном взаимодействии между клетками еще много неясного, Вейсс заключает: «Ясно, по-видимому, только то, что для этих явлений характерна специфичность того же рода, что и для иммунных реакций, взаимодействий ферментов с субстратами, коньюгации хромосом, оплодотворения, паразитных инвазий и фагоцитоза... Таким образом, переходя от фагоцитоза и поглощения макромолекул к межклеточным контактам с «узнаванием» и далее до избирательного «прилипания» клетки к субстрату, мы получаем непрерывный спектр одинаковой природы».

4. Предлагая схему сложных взаимодействий в целостном организме (представленную на рис. 96), Вейсс подчеркивает: «Никакой внешний агент не может воздействовать на внутренние оболочки иначе, чем через посредство промежуточных оболочек, которые могут модифицировать внешний фактор на его пути внутрь системы. И, наоборот, продукты внутренних систем не могут до-

стигнуть внешних оболочек в неизменном состоянии, но также могут быть существенно изменены или экранированы».

Если подойти к рассмотрению описанных явлений с позиций концепции о многосторонних ЭМП-взаимосвязях внутри организма и о его взаимодействиях с ЭМП внешней среды, то вырисовывается картина, заманчивая по своей простоте и стройности. В самом деле, можно представить себе, что в организме существуют многообразные взаимосвязи такого рода (наряду, конечно, с уже известными многообразными нейро-гуморальными связями), дифференцированные по специфическим «рабочим» частотам, интервалам интенсивностей и методу кодирования. Такие взаимосвязи могут лежать в основе не только взаимодействий между клетками, но и в основе специфических взаимодействий между макромолекулами: ферментом и субстратом, антигеном и антителом, ДНК и РНК; быть может, за счет подобных взаимосвязей осуществляется управление процессами синтеза белковых молекул. Недавно была высказана гипотеза о таком управлении (New biological effects of R — F, 1959), в которой молекулы ДНК рассматриваются как генераторы радиочастотных сигналов, молекулы РНК — как усилители, а ферменты и аминокислоты — как исполнители сигналов, кодированных в различных участках спектра; оболочке клетки приписывается роль шумового фильтра.

Принципиально возможны три типа электромагнитных взаимосвязей в живом организме: во-первых, это известная схема взаимосвязи центральной управляющей системы с периферическими исполнительными и рецепторными элементами, как это имеет место, например, в нервной регуляции функций организма; во-вторых, это автономные взаимосвязи между элементами, например, между клетками и между макромолекулами (по-видимому также находящиеся под централизованным контролем) и, в-третьих, это сигналы из управляющей системы одновременно различным элементам в организме. Возможность существования последнего типа связи рассматривал Винер (1958), сравнивая его с сигналом пожарной сирены и называя сигналом «тем, кого это касается». Он предполагает, что такого рода сигнализация может передаваться и по нервной системе, и гуморально.

Нам представляется, что такая «аварийная сигнализация» осуществляется из центральной нервной системы одновременно всем исполнительным органам по типу радиопередачи «всем — всем» и что она имеет место главным образом при эмоциональных состояниях организма.

Как указывает П. Симонов (1966), при эмоциональных состояниях, вызванных каким-либо внешним источником, организм мобилизуется на «дистанционное действие», направленное либо на овладение полезным предметом, либо на устранение факторов, препятствующих удовлетворению потребности, либо на избегание опасности.

Известно, что при «эмоциональной мобилизации» организма деятельность его органов (участвующих в выполнении данного действия) по быстроте и силе значительно превосходит их нормальные «рабочие» способности. Так, например, значительно быстрее, чем обычно, осуществляется координированное действие мышц и усиливается их сократительная способность. Если мы попытаемся объяснить такую активизацию органов как реакцию на сигналы, поступающие к ним по нервам из центральной нервной системы, то натолкнемся на противоречие, связанное с тем обстоятельством, что возбуждение по вегетативным нервам распространяется примерно в сто раз медленнее, чем по моторным, иннервирующим мышцы (Кнорре, Лев, 1963). Но именно по вегетативным нервам осуществляется активизация процессов, с которыми связано усиление сократительной способности мышц — выделение адреналина надпочечниками, расширение мышечных сосудов, учащение сердцебиения. Более того, известно, что сердечные сокращения учащаются только через несколько секунд после раздражения вегетативных (симпатических) нервов.

Таким образом возникает парадоксальное обстоятельство: мышцы сначала получают сигнал к усиленному координированному действию, а значительно позже поступают сигналы к органам, обеспечивающим необходимое усиление мышечной деятельности. В связи с этим невольно напрашивается предположение о существовании системы «аварийной» сигнализации одновременно всем органам, не связанной с нервной сетью; такая сигнализация могла бы обеспечить практически мгновенную общую «мобилизацию» организма при его эмоциональных состояниях. Представляется вероятным, что в этих случаях центральная система передает электромагнитные сигналы по всему организму «тем, кого это касается» на «аварийной» частоте (подобно тому, как это происходит при передаче сигналов SOS).

Итак, гипотеза о существовании многообразных взаимосвязей внутри живого организма с помощью ЭМП имеет, по крайней мере, косвенные экспериментальные обоснования и может служить одним из исходных пунктов для выяснения физической природы некоторых избирательных взаимодействий, наблюдаемых между системами и элементами организма. Что касается возможных механизмов таких взаимосвязей, то в этом отношении можно пока высказать только некоторые общие соображения.

12.3. О механизмах взаимосвязей посредством ЭМП внутри организма

Начнем рассмотрение таких механизмов с «нижнего этажа» — с взаимосвязей между макромолекулами в организме. Обсуждая электромагнитную связь между макромолекулами, Сент-Дьёрдьи (1960) указывает, что «... две молекулы, электроны которых мо-

гут одинаковым образом возбуждаться, способны вести себя как связанные осцилляторы. В этом случае нет необходимости в наличии материальной связи между ними, так как их связывает электромагнитное поле, если только расстояние между ними не слишком велико (мало по сравнению с длиной волны)». Вместе с тем, как указывалось выше, имеются теоретические и экспериментальные основания говорить и о таком электромагнитном взаимодействии между макромолекулами, которое можно было бы рассматривать как информационное, как, например, диполь-дипольные взаимодействия между одинаковыми и подобными макромолекулами, возникающие в связи с флуктуациями распределения протонного и электронного заряда в молекулах (Vogelhut, 1960; Prausnitz et al., 1961). Указывали мы и на различного типа резонансное поглощение ЭМП белковыми молекулами и их агрегатами, а такая способность, как правило, связана с возможностью и соответственного электромагнитного излучения. Наконец, резонансное поглощение ЭМП биологическими молекулами было продемонстрировано и экспериментально. Все это дает основание говорить о возможном существовании взаимосвязи между макромолекулами с помощью ЭМП разных частот, вероятнее всего в ультравысокочастотном и сверхвысокочастотном диапазонах (а возможно, и в низкочастотном).

В этом свете представляют интерес высказанные недавно соображения М. Неймана (1964, 1965а, 1965б) о возможном информационном взаимодействии на молекулярном и атомном уровнях в таких системах, как ДНК и РНК. По мнению автора, в этих системах имеет место повышенная вероятность детерминированных квантовых процессов, во-первых, за счет увеличения вероятности триггерного действия при однократном взаимодействии атома и кванта и, во-вторых, за счет многократного их взаимодействия без увеличения вероятности срабатывания при однократном акте. Возможность таких механизмов вытекает из того обстоятельства, что, когда индуцированное излучение не возникает, атом остается невозбужденным и электромагнитный квант также остается готовым к действию.

Нейман предполагает, что повышение общей вероятности индуцированного излучения может происходить тремя путями: во-первых, при многократном воздействии на атом одного и того же электромагнитного кванта, во-вторых, при воздействии одиночного кванта на некоторое число одинаковых и одинаково возбужденных атомов и, в-третьих, за счет воздействия на атом не одного кванта, а нескольких.

При оценке возможного частотного диапазона электромагнитных взаимосвязей между клетками следует учитывать два обстоятельства: с одной стороны, экспериментальные данные указывают на чувствительность клеток к ЭМП самых различных частот, с другой — проникновение ЭМП внутрь клетки должно зависеть

от частоты, так как от нее зависит импеданс мембраны и поглощение, обусловленное полярными молекулами воды. Очевидно, что компромиссным мог бы быть диапазон от десятков *Мгц* примерно до 1000 *Мгц*, в котором влияние клеточных мембран становится уже незначительным, а полярные свойства молекул воды еще не сказываются. Иначе говоря, в этом диапазоне взаимосвязь между внутренними элементами различных клеток может быть частотно независимой. При широкой полосе частот и соответствующем способе кодирования может быть обеспечена высокая надежность межклеточной взаимосвязи, которая осуществляется, по-видимому, и через субклеточные структуры и на молекулярном уровне.

Гипотетическую схему сигнализации из центральной нервной системы по типу «всем — всем» можно представить себе следующим образом: в периферических узлах, таких как ганглии, железы внутренней секреции и т. п., имеются «приемники», настроенные на «аварийную» частоту, которые обеспечивают ретрансляцию сигнала на соответствующих частотах к исполнительным элементам. Технической аналогией такой передачи информации может служить ретрансляция всеми радиостанциями страны важного сообщения, передаваемого из центра.

Предложенную Вейссом (1961а) схему взаимодействия в целостном организме можно применить и к неадекватным воздействиям на организм ЭМП внешней среды. В этом случае неадекватные воздействия представляют собой электромагнитные помехи, которые в той или иной мере способны нарушить электромагнитные взаимодействия внутри организма. Защитные механизмы либо не пропускают эти помехи к системам электромагнитной регуляции и взаимосвязи, либо модифицируют их так, что нарушений не происходит. Воздействие ЭМП ультравысоких и сверхвысоких частот на центральные системы организма ограничено прежде всего тем, что чем выше частота и чем больше размеры животного, тем меньше относительная глубина, на которую проникают ЭМП. Наряду с этим в тканях организма происходит и модификация воздействующих на него ЭМП: уменьшение длины волны (в $\sqrt{\varepsilon}$ раз), искажение модуляционных характеристик, понижение средней интенсивности по мере поглощения в тканях и т. д.

Наконец, как мы указывали, имеются основания говорить и об активной защите, основанной на все возрастающем латентном периоде реакции на ЭМП по мере перехода от периферических защитных систем к центральным управляющим системам; поэтому каждая периферическая система защиты успевает «предупредить» систему следующей ступени защиты и, наконец, центральные системы о нежелательном воздействии, что дает возможность последней понизить свою чуствительность к воздействующим ЭМП.

Иначе обстоит дело в отношении низкочастотных ЭМП, проникающих в глубь тела, а тем более инфранизкочастотных и постоянных полей, которые могут воздействовать на любые элементы организма. Здесь уже возможна только активная «предупредительная» защита.

С другой стороны, рассматриваемая схема многоступенчатой защиты должна беспрепятственно пропускать регулирующие природные ЭМП (медленно периодически изменяющиеся или высокочастотные, соответственно модулированные по интенсивности) в «глубокие подвалы» организма — к медленным электромагнитным управляющим системам.

Итак, к вопросу о природе регулирующего или нарушающего влияния внешних ЭМП на живые организмы можно подходить на основе концепции о существовании в организмах электромагнитных управляющих систем и многообразных ЭМП-взаимосвязей. С этой точки зрения регулирующее влияние внешних ЭМП обусловлено непосредственным их воздействием на эволюционно сформированные электромагнитные управляющие системы, а нарушения, вызываемые неадекватными ЭМП,— помехами в функционировании этих систем или тех или иных внутренних взаимосвязей, осуществляемых посредством ЭМП.

Глава 13

РОЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ВЗАИМОСВЯЗЯХ МЕЖДУ ОРГАНИЗМАМИ

Различные виды дистанционной информационной взаимосвязи между животными давно уже известны биологам. Животные не могли бы существовать, не имея возможности обмениваться сигналами, которыми самка призывает самца, детеныши — мать, особи одного вида предупреждают друг друга об опасности, сообщают о месте нахождения пищи и т. д. Известна и физическая природа многих видов такой сигнализации — звуковая (и ультразвуковая), световая, при помощи запахов (см., например, Mc. Elroy, Seliger, 1962; Райт, 1964; Шовен, 1965).

Наряду с этим в последние годы открыты и новые физические агенты — переносчики информации. Так, например, обнаружено (Brown, 1963в), что планарии ориентируются по слабому гамма-излучению (всего в 6 раз интенсивнее природного) и способны различать местонахождение его источника, а некоторые эксперименты с муравьями указывают на возможность существования у них информационной взаимосвязи, основанной на ионизирующих излучениях (Халифман, 1965; Мариковский, 1965).

Однако известны различные проявления информационных

взаимосвязей между животными, природа которых остается пока загадочной: какая сигнализация лежит в основе одновременности маневров в стаях птиц и рыб? Почему парамеции, постоянно находящиеся в быстром хаотичном движении, никогда не сталкиваются друг с другом и при опасности сближения мгновенно останавливаются и резко изменяют направление движения? Как птицы находят издалека путь к гнездовью? Как животные передают сигналы об опасности, находясь друг от друга на весьма далеких расстояниях? Как собака находит издалека кратчайший путь к хозяину при таких условиях, когда исключена ориентировка с помощью известных органов чувств? Эти вопросы можно было бы продолжить, а также указать на недостаточную убедительность объяснения некоторых взаимодействий, как, например, призыв самкой самца при помощи запаха с расстояний в несколько километров.

Такого рода сигнализацию в мире животных, физическая природа которой пока не установлена, в последнее время условно называют *биоинформацией*. Имеются основания полагать, что в ряде случаев такая сигнализация осуществляется с помощью ЭМП различных частотных диапазонов. В пользу этого свидетельствует, во-первых, высокая чувствительность к ЭМП у животных самых различных видов и особенно тот факт, что ЭМП могут служить условным раздражителем при образовании условных рефлексов; во-вторых, обнаружено, что у людей под действием ЭМП возникают различные чувственные ощущения, а у некоторых животных имеются специальные рецепторы ЭМП; в-третьих, зарегистрированы уже ЭМП различных частот в окрестности изолированных органов и клеток, а также вблизи целостных организмов.

13.1. Чувственные ощущения и безусловные рефлексы, вызываемые ЭМП

Еще в конце прошлого века (D'Arsonval, 1893) было обнаружено явление фосфена (ощущение вспышек света в глазу), возникающее под действием ЭМП. Дальнейшие исследования (Danilewski, 1905; Thomson, 1910; Barlow et al, 1947; Могендович, Скачедуб, 1957; Valentinuzzi, 1962; Соловьев, 1963 и др.) показали, что этот эффект возникает под действием постоянного магнитного поля или за счет магнитной составляющей ЭМП, и его стали называть «магнитофосфеном». Недавно появились сообщения о возникновении зрительных галлюцинаций у людей, подвергаемых воздействию ЭМП в частотном диапазоне 380—500 *Мгц* (Jaski, 1960): испытуемые неизменно связывали эти ощущения (14 раз из 15 испытаний) с одной и той же точкой пространства.

Звуковые ощущения при действии ЭМП были отмечены впервые в 1956 г., а затем подробно исследованы Фреем (Frey, 1961,

1962, 1963з), которому удалось установить следующие закономерности.

1. Находясь в зоне импульсно-модулированных ЭМП, люди ощущают различные звуки (жужжание, щелкание или свист) в зависимости от режима модуляции. Источник звука ощущается где-то в области затылка. Опыты с экранированием головы показали, что восприятие «радиозвука» происходит только в височной области.

2. «Радиозвуки» хорошо сопоставляются со звуками, создаваемыми в динамике усиленными случайными колебаниями (шумами) огибающей модуляционных импульсов, при вырезании частот ниже 5 *кгц* и максимальном расширении полосы в сторону более высоких частот.

3. Окружающий шум до 90 *дб* не устраняет эффекта «радиозвука», хотя и снижает чувствительность к нему. Применение антишумовых пробок увеличивает эффект «радиозвука».

4. Существуют определенные пороговые интенсивности, ниже которых эффект не возникает. Значения их зависят от параметров ЭМП, причем основными определяющими параметрами являются напряженности электрической и магнитной составляющей в импульсе, а не плотность потока мощности.

Автор предполагает, что восприятие ЭМП происходит непосредственно в слуховых нервах и в клетках слуховой зоны коры головного мозга различными «детекторами» и что наряду с «радиозвуком» возможны и другие ощущения при воздействии ЭМП в зависимости от режима облучения.

Подобные эффекты наблюдали позднее (Wieske, 1963) под действием низкочастотных ЭМП — от 60 *гц* до 15 *кгц* (при максимальной чувствительности на 3 *кгц*), а также при включении и выключении электростатического поля. Автор полагает, что ЭМП индуцируют во внутреннем ухе слабые токи, которые и возбуждают слуховые клетки или слуховые нервы.

Имеется сообщение и о тактильном (осязательном) ощущении у человека под действием импульсного электромагнитного поля (Novak, 1963). Испытуемый, находящийся внутри соленоида, ощущал толчки: в положении на спине — в бедренной области по обе стороны позвоночника, в положении на боку — в подложечной области и в положении на животе — в области живота. Описаны также (Frey, 1963б) осязательные ощущения у людей, находящихся вблизи антенны сверхдлинноволновой радиостанции (14,7 *кгц*), в виде зуда или покалывания на коже лица и предплечья.

Упомянем, наконец, опыты Турлыгина (1937), в которых воздействие сантиметровых волн весьма малой интенсивности вызывало у людей ощущение сонливости, расслабленности.

Что касается влияния ЭМП как условного раздражителя, то, как мы уже указывали, такие эффекты наблюдали и в опытах с

людьми (Плеханов, 1965), и в опытах с животными (Малахов и др., 1963, 1965а).

С новым видом чувствительности — специфической рецепцией ЭМП — мы сталкиваемся у рыб. Если сначала такого рода чувствительность была обнаружена только у рыб, обладающих электрическими органами, которые способны реагировать на импульсы электрического поля ничтожно малой напряженности — 10^{-6} *в/см* (Lissman, 1958; Lissman, Machin, 1958; Fessard, Szabo, 1961; Szabo, 1962), — то в последнее время и у других видов рыб установлена чувствительность к электрическому полю. Оказалось, что эта чувствительность различна у разных видов рыб; так, например, выявлено (Бодрова, Краюхин, 1965), что у ската она вдвое ниже, чем у каменного окуня; у судака вдвое, а у налима втрое ниже, чем у щуки; из 13 видов мальков морских рыб одинакового размера наиболее чувствительной оказалась макрель. Недавно исследовалась зависимость электрочувствительности рыб, не обладающих электрическими органами, от длительности импульса и частоты повторения импульсов (рис. 97, Lissman, Machin, 1963).

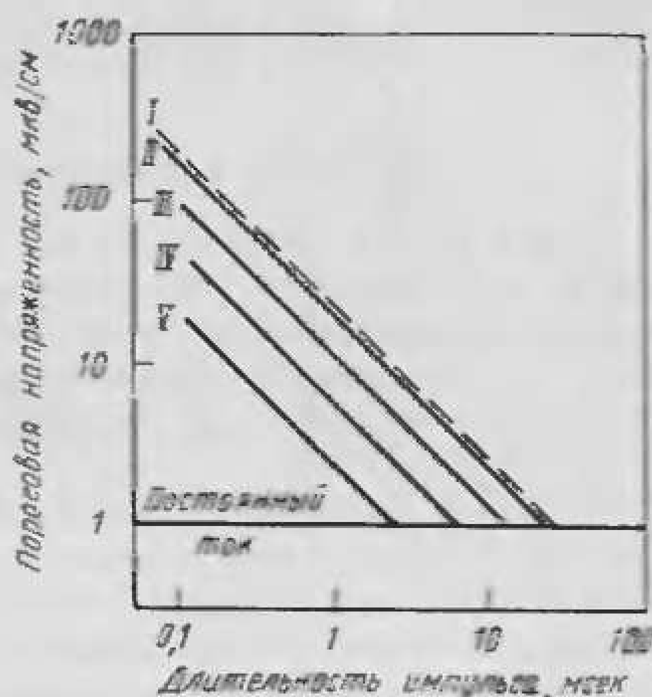


Рис. 97. Пороговые напряженности электрических импульсов, вызывающих условно-рефлекторную реакцию у рыб, в зависимости от частоты повторения импульсов

I — отдельные импульсы и 10—20 *имп/сек*, *II* — 50 *имп/сек*, *III* — 100 *имп/сек*, *IV* — 200 *имп/сек*, *V* — 300 *имп/сек*

Сопоставив данные о генерации импульсных полей рыбами и их чувствительность к таким полям, можно с достаточным основанием предположить существование у них информационной взаимосвязи с помощью ЭМП.

По-видимому, электрочувствительность связана у рыб с какими-то ощущениями, но любые попытки описать их абсолютно бесплодны (как и вообще антропоморфический подход к ощущениям у животных). Здесь мы сталкиваемся с рецепцией физического агента, вообще не имеющей подобного аналога у человека, как это имеет место и в отношении других видов рецепции у животных, например восприятия ультрафиолетовых лучей у пчелы, инфракрасных — у змеи и т. д. Мы приводим эти тривиальные соображения только для того, чтобы подчеркнуть следующее важное положение: если все реакции животных на ЭМП, не связанные с чувственным восприятием, мы в той или иной мере

можем сопоставлять с соответствующими реакциями у человека (например, изменение физиологических процессов), то там, где рецепция ЭМП может быть связана с каким-то чувственным ощущением, любые параллели не имеют смысла.

Таким образом, можно полагать, что способность к рецепции ЭМП у животных и возникновение определенных ощущений у человека под действием ЭМП связаны с деятельностью либо необнаруженных пока органов чувств, либо с неизвестными еще свойствами обычных органов чувств или их совокупностей.

13.2. ЭМП, возникающие вблизи клеток и органов

Еще в 1947 г. Лоренте де Но (Lorente de No) обнаружил, что вокруг возбужденного нерва, помещенного в проводящую среду, возникает электрическое поле. А двумя годами позже было зарегистрировано возникновение такого поля и в воздушном пространстве вокруг нерва на расстоянии до нескольких миллиметров (Burr, Mauro, 1949).

В 1948 г. Краюхину, а позднее Сейпелю и Морроу (Seipell, Morrow, 1960) удалось с помощью индукционного датчика зарегистрировать напряжение, возникающее, по их мнению, от магнитной составляющей электромагнитного поля вблизи возбужденного нерва. Дальнейшие исследования этого явления дали противоречивые результаты: одни исследователи (Gengerelli, 1961; Gengerelli et al., 1964) подтвердили этот эффект, другие (Хведелидзе и др., 1965) не обнаружили. Одна из возможных причин таких разногласий состоит в том, что регистрируемые величины весьма малы и их измерение представляет весьма сложную и методическую, и техническую задачу. Однако недавно удалось зарегистрировать чрезвычайно слабые магнитные поля (порядка миллионных долей эрстеда), возникающие в окрестности сердца человека (Baule, McFee, 1963). Применявшийся в этих исследованиях метод оказался настолько надежным, что в настоящее время на его основе (с помощью индукционных датчиков) разработана практическая установка для «магнитокардиографии».

Представляют значительный интерес исследования, в которых было обнаружено высокочастотное излучение мышц человека (Volkers, Condib, 1960). В процессе мышечного сокращения были зарегистрированы (с помощью непосредственного контакта) низкочастотные и высокочастотные излучения в диапазоне от десятков до 150 *кгц*. Наибольший эффект отмечен у мелких мышц, средний — у икроножной мышцы; излучений от мышц головы не наблюдалось. При различных методах измерений (с помощью усилителей, имеющих весьма низкий уровень собственных шумов) — широкополосном, узкополосном и с выделением специфических частот — были обнаружены вариации в характере излучений в зависимости от возраста и состояния здоровья испытуе-

мых. Авторы предполагают, что имеется и более высокочастотное излучение мышц.

Подобные исследования были проведены позднее при дистантном способе регистрации с помощью антенны, помещенной на расстоянии 1 *см* от объекта (Малахов и др., 1965б). Усилительные установки были рассчитаны на две частоты — 3 и 150 *кгц* при полосе пропускания соответственно 1 и 10 *кгц* и чувствительностях 0,2 и 0,1 *мкв*. Эксперименты вели на икроножной мышце ля-

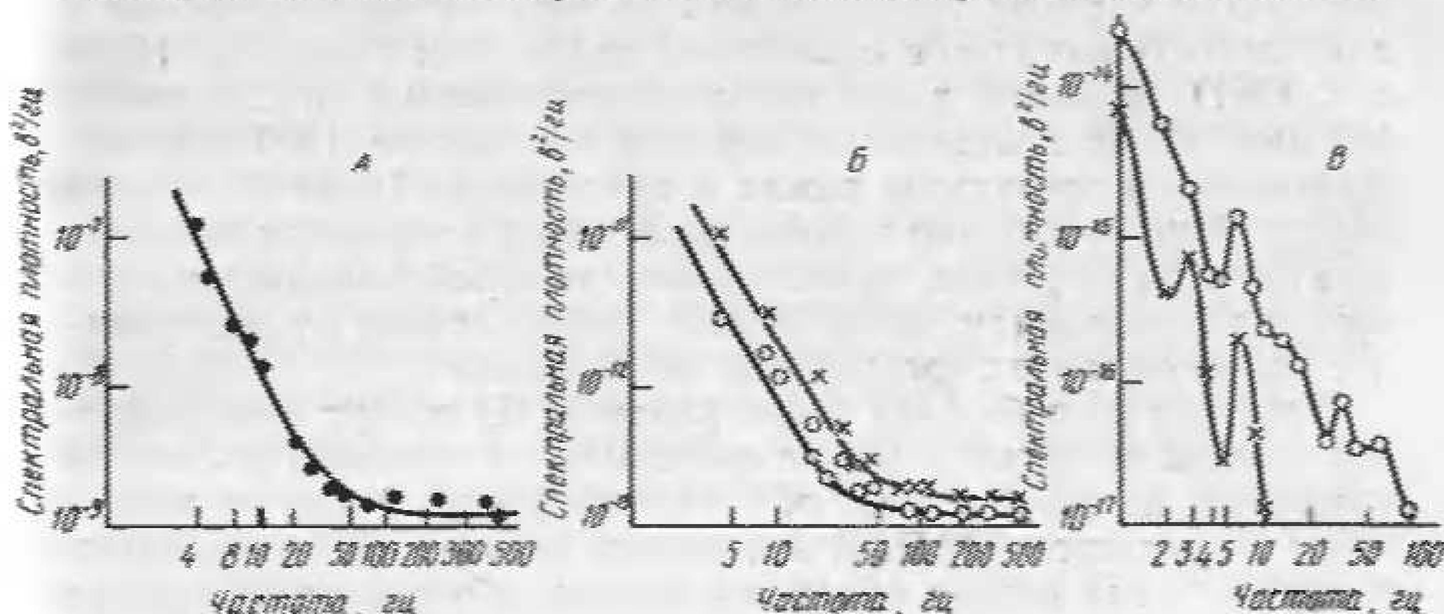


Рис. 98. Спектральные характеристики биопотенциалов возбужденных мышц предплечья (*А*), зрительных долей мозга стрекозы (*Б*) и головного мозга лягушки (*В*). Кружки — при темновой адаптации глаза, крестики — при освещении глаза

гушки и мышце предплечья человека с оценкой различия в сигналах при напряженном и расслабленном состоянии мышц. При напряженном состоянии мышц предплечья на частоте 3 *кгц* обнаружено слабое излучение (0,1 *мкв* в антенне), имеющее вид хаотически возникающих импульсов длительностью порядка 1 *мксек*; расслабленные мышцы не излучали. Зарегистрировать излучение на частоте 150 *кгц* не удалось. Авторы предположили, что спектральная плотность биопотенциалов мышц убывает с увеличением частоты, и исследовали спектры биопотенциалов на различных объектах с помощью спектроанализатора (полоса частот 1 *кгц*, чувствительность не ниже 10^{-16} *в*²/*гц*). На рис. 98 приведены полученные спектральные характеристики.

Наиболее интересные и убедительные результаты были получены недавно в Ленинградском государственном университете (Гуляев, 1967; Гуляев и др., 1967). С помощью специально разработанного зондирующего усилителя удалось зарегистрировать ЭМП, возникающее вокруг активных нервов, мышц и сердца лягушки, а также ЭМП, создаваемое мускулатурой и сердцем человека. Авторы назвали регистрируемые поля «электроаурограммой». Электроаурограмма от изолированного нерва лягушки за-

регистрирована на расстоянии 25 *см* от него (где напряжение равнялось 1 *мв*), от изолированной мышцы и сердца лягушки — на расстоянии 14 *см*, от сердца и мышц человека — на 10 *см*. Зарегистрированы также ЭМП при полете шмеля и комара.

Давно уже изучается генерация электрических импульсов у рыб, обладающих электрическими органами. К настоящему времени установлено, что такие рыбы испускают низковольтные импульсы (порядка 1*в*), либо в виде отдельных «залпов» импульсов низкой частоты, либо непрерывно, причем частота, форма и длительность импульсов характерны для каждого вида рыб (Буллок, 1961). Обычный диапазон частот находится в пределах 60—400 *имп/сек*, но в отдельных случаях превышает 1000 *имп/сек*. Длительности импульсов лежат в пределах от 10 до 0,2 *мсек* и короче. Уже достаточно хорошо исследован и механизм действия электрических органов, представляющих собой наборы электрических пластинок (см. обзор Беннет, 1964). Однако функциональное назначение этих органов еще не выяснено.

Уже сам по себе факт регистрации ЭМП вокруг изолированных клеток и органов и в окрестности целостных организмов указывает на возможность обмена информацией между животными посредством ЭМП. И эти первые результаты следует рассматривать как весьма обнадеживающие, ибо они получены при условиях, в общем случае не являющихся оптимальными.

Во-первых, регистрацию проводили при отсутствии достаточно определенных сведений о параметрах исследуемых ЭМП, исходя из грубо приближенной оценки реального частотного диапазона, характера кодирования (модуляции) и интенсивности ЭМП, создаваемых биологическими системами; во-вторых, в опытах с целостными организмами регистрировали результат сложения некогерентных ЭМП элементарных генераторов (нервных и мышечных клеток), при котором суммарная интенсивность пропорциональна числу генераторов, тогда как при передаче информации происходят, по-видимому, когерентные колебания, при которых суммарная интенсивность пропорциональна квадрату числа генераторов; в-третьих, представляется вероятной передача информации и в широкой полосе частот, когда элементарные генераторы одновременно передают информационный сигнал на различных частотах.

Ниже мы рассмотрим вопрос о том, при каких видах биоинформации можно предполагать когерентную передачу и при каких — широкополосную, а также обсудим возможные схемы взаимосвязей посредством ЭМП в мире животных.

13.3. Биоинформация и ЭМП

Приведенные экспериментальные данные о способности организма животных генерировать и воспринимать ЭМП различных частотных диапазонов можно рассматривать как косвенное ука-

зание на существование в мире животных информационных взаимосвязей с помощью ЭМП. Кроме того, как мы уже говорили, имеется немало примеров информационных взаимосвязей между животными, физическая природа которых пока не установлена, и представляется вероятным, что сигнализация в этих случаях осуществляется посредством ЭМП.

Обсудим теперь следующие вопросы: 1) о возможных типах биоинформации с помощью ЭМП, 2) о принципах подхода к постановке исследований для непосредственного обнаружения такого рода биоинформации и 3) о модельных схемах, с помощью которых можно было бы выяснить соответствующие механизмы передачи и приема информации.

Представляется очевидным, что для получения ответа на эти вопросы следует исходить, прежде всего, из изучения *биологических закономерностей,* лежащих в основе биоинформации. А это значит, что необходимо: 1) всесторонне изучать поведение животных в естественных условиях или в условиях, максимально близких к естественным, 2) учитывать зависимость физиологического и эмоционального состояния животных от их возраста, сезонных условий, реакции на окружающую обстановку и т. д. и 3) правильно выбирать виды животных для изучения того или иного вида биоинформации.

Такой подход к изучению биоинформации безусловно таит в себе немалые трудности. Но иначе нельзя определить те оптимальные биологические условия, в которых она проявляется, а без этого нельзя успешно поставить физические исследования для ее непосредственного обнаружения и для изучения параметров действующих ЭМП, механизмов передачи и приема информации.

Рассматривая особенности в поведении животных, которые можно было бы объяснить взаимосвязями, осуществляемыми с помощью ЭМП, можно указать на четыре типа такой биоинформации. Обсудим последовательно их основные признаки, возможные модельные схемы и методы обнаружения.

Первый тип — это биоинформация, обеспечивающая быструю координацию деятельности особей в группах и сообществах животных. Можно предполагать, что такая информационная взаимосвязь лежит в основе таких явлений, как одновременность маневров движения в стаях птиц и рыб, быстрая координация деятельности общественных насекомых, находящихся на сравнительно небольших расстояниях друг от друга, отсутствие столкновений хаотично движущихся инфузорий и т. п. Во всех этих случаях связь должна осуществляться на относительно небольших расстояниях и может происходить с помощью однократных слабых сигналов ЭМП, несущих небольшое количество информации. Рассмотрим возможные модельные схемы такой связи.

Зоологи считают, что птицы и рыбы в стаях одновременно выполняют двигательные маневры по каким-то сигналам от вожака.

Если эта сигнализация осуществляется посредством ЭМП, то возможны два пути: либо у вожака есть достаточно мощный генератор ЭМП для передачи сигналов «всем — всем в стае», либо сравнительные слабые сигналы от вожака «ретранслируются» от особи к особи. Представляются вероятными две схемы такой связи: либо сигналы поступают в центры головного мозга, координирующие летательные и плавательные движения, и эти центры посылают по нервам соответствующий «приказ» органам, выполняющим маневр движения, либо сигналы поступают непосредственно к этим органам, вызывая их рефлекторное действие. Ведь известно, что определенный двигательный акт у животного можно вызвать как электрическим раздражением соответствующего участка головного мозга, так и раздражением нервно-мышечного аппарата непосредственно.

Инфузории, находящиеся в быстром хаотическом движении, никогда не сталкиваются друг с другом, во-время делая резкие остановки и крутые повороты. Но наши опыты с парамециями показали, что такие же маневры можно вызвать, воздействуя на инфузорий импульсами ЭМП: на каждый импульс парамеции отвечают резкой остановкой движения с одновременным поворотом тела параллельно электрическим силовым линиям. Представляется вероятным, что такие двигательные маневры в естественных условиях происходят благодаря электромагнитной сигнализации, источником которой могли бы служить периодические изменения электрического потенциала в оболочке парамеций, связанные с биением ресничек (см. гл. 9).

Во всех рассмотренных случаях передача сигналов осуществляется, по-видимому, одновременно от всех нервно-мышечных элементов, участвующих в двигательном акте животного. Ведь, как указывалось выше, при любых видах движения (плавании, полете, ползании и т. д.) в этих элементах происходят когерентные электромагнитные колебания, синхронизуемые из управляющего центра (а у инфузорий они синхронизованы в самом «нейромоторном» аппарате). Прием сигналов происходит, очевидно, путем пространственной суммации либо в элементах соответствующего центра, управляющего движением, либо в элементах, выполняющих двигательный акт. При таком способе информационной связи она может осуществляться сравнительно слабыми сигналами ЭМП и быть достаточно надежной на фоне помех и шумов.

Для непосредственного обнаружения биоинформации первого типа можно было бы поставить следующие эксперименты:

1. Наблюдать влияние ЭМП различных частот на маневры птиц в стаях (например, при их полетах вблизи радиостанций или в зоне излучения от экспериментальных передатчиков), на характер движения рыб под действием постоянного и импульсного электрического поля, на поведение инфузорий в зоне ЭМП и, на-

конец, реакцию общественных насекомых на ЭМП (вспомним описанное в § 7.1 влияние СВЧ-полей на муравьев) и т. п.

2. Исследовать поведение общественных насекомых при различных методах экранирования отдельных особей или их групп (как это делалось в опытах Леконта, описанных Шовеном (1965), и в опытах Мариковского с муравьями), создавая условия, при которых насекомые могут «выбирать» между естественными условиями и зонами, где искусственно создано ЭМП (например, между пластинами конденсатора, как в опытах Эдвардса (1960а)) и т. п.

3. Если этими методами удастся хотя бы приближенно оценить частотный диапазон электромагнитной сигнализации, то можно попытаться непосредственно зарегистрировать ее с помощью достаточно чувствительной аппаратуры. Такого рода исследования лучше начинать на общественных насекомых и одноклеточных организмах, так как в этих случаях сравнительно легко осуществить необходимую экранировку от внешних помех и располагать антенны на небольших расстояниях от объекта.

Второй тип биоинформации — это сравнительно медленная сигнализация, которую можно было бы рассматривать как причину загадочной пока способности многих животных находить издалека путь друг к другу. Такого рода способность обнаруживается, например, у насекомых (призыв самкой самцов, находящихся на далеких от нее расстояниях) и у птиц (инстинкт «хоминга» — нахождения издалека пути к «дому»). В этих случаях информация должна передаваться на значительные расстояния и, следовательно, для ее осуществления необходимы и достаточно сильные сигналы, и высокая чувствительность их восприятия.

Характерно, что такие навигационные способности у животных связаны с тем или иным их эмоциональным состоянием. Самка призывает самца только в брачный период, когда оба они охвачены эмоцией полового влечения; инстинкт «хоминга» проявляется главным образом в период выкармливания птенцов и, следовательно, также связан с эмоциональным возбуждением: у птенцов — с ощущением голода или тревогой в связи с возникшей опасностью, у родителей — со стремлением накормить птенцов, защитить их от опасности.

Мы уже говорили (§ 12.2), что при эмоциональном состоянии организма возможна электромагнитная сигнализация из центра, мобилизующая одновременно все исполнительные органы на осуществление действия по отношению к источнику эмоции. При таком механизме в исполнительных элементах организма по сигналу из центра могут возникать когерентные электромагнитные колебания той же частоты или воспроизводящие этот сигнал колебания различных частот. Если это верно, то в эмоциональном состоянии становится возможной интенсивная передача информации либо с помощью ЭМП определенной частоты, либо одно-

временно на различных частотах. Можно, далее, предположить, что в этом состоянии организм животного обладает и повышенной чувствительностью к приему обоих видов этих информационных сигналов. Как уже было сказано, высокая чувствительность к сигналам ЭМП может быть связана с механизмом пространственной суммации. А поскольку биоинформация рассматриваемого типа осуществляется на протяжении длительного времени, то представляется вероятным и механизм временнóй суммации многократно повторяющихся сигналов.

Если искать техническую аналогию навигации животных в поисках пути друг к другу, то можно сказать, что они действуют как «живые радиомаяки». Одно животное непрерывно посылает сигналы ЭМП, по которым другое ориентируется в поисках пути для встречи. В случае «хоминга» можно предполагать и одновременную посылку сигналов группой животных (птенцов).

Для экспериментального обнаружения биоинформации второго типа можно предложить следующие методы:

1. Эксперименты с животными в условиях их раздельного экранирования; сопоставление числа встреч насекомых-самцов с экранированными и неэкранированными самками; сравнение при тех же условиях поведения птиц (проявления «беспокойства»), птенцы которых подвергаются опасности (но не искусственно создаваемой опасности, а обязательно естественной, на которую птенцы эмоционально реагируют), и т. п. Следует при этом заботиться о том, чтобы условия проведения опытов по возможности приближались к естественным и не были бы связаны с созданием искусственных помех.

2. Сравнительные исследования взаимосвязей между эмоционально возбужденными животными в естественных условиях и в условиях воздействия на них ЭМП того или иного частотного диапазона. При изучении «хоминга» такого рода эксперименты можно проводить в условиях, когда гнездо с птенцами подвергается воздействию ЭМП с одновременной имитацией опасности для птенцов и при отсутствии такой опасности; такие опыты целесообразно проводить и с насекомыми во время их брачного периода.

Третий тип биоинформации — это медленный обмен информацией посредством ЭМП между особями одной популяции или одного вида. Такой информационный обмен можно было бы рассматривать как один из возможных механизмов регуляции развития популяции и внутривидового развития (качественного и количественного).

На существование внутрипопуляционной и внутривидовой регуляции указывает Шовен (1965), рассматривая ее как «общественную нервную систему» — совокупность взаимосвязей между особями, обеспечивающую более высокий уровень их совместной деятельности. Он вспоминает гипотезу, высказанную в 1925 г.

Уваровым, о том, что наблюдающееся изменение окраски зеленой саранчи на черную при соседстве ее с черной обусловливается каким-то неизвестным раздражением, исходящим от последней. Далее он указывает, что имеются основания предполагать существование некоего механизма, автоматически регулирующего численность вида независимо от наличного количества пищи, и приходит к заключению, что «существует некая, различная для каждого вида средняя плотность популяции, при которой неотвратимо приходит в действие таинственный регуляторный механизм, который через посредство надпочечников и гипофиза сначала подавляет, а затем и полностью прекращает воспроизведение». Не являются ли этим регулятором ЭМП-связи?

К этим гипотезам стоит присовокупить и предположение английского зоолога Харди (Hardy, 1949). Он высказал соображение о существовании какой-то дистанционной взаимосвязи между особями одного вида, которая играет существенную роль в формировании видового поведения и в общем направлении эволюционного развития внутри вида. Можно сказать, что эта гипотеза (правда, чисто умозрительная) — еще одна попытка перекинуть мостик между преформационной и эпигенетической теориями наследственности.

Попробуем подойти к этой гипотезе с позиций электромагнитной информационной взаимосвязи между животными. Выше мы описали генетические эффекты ЭМП и указывали на теоретическую возможность электромагнитной взаимосвязи между молекулами нуклеиновых кислот. В связи с этим напрашивается предположение, что обмен генетической информацией внутри популяции (обладающей совокупностью генетической информации — «генофондом») происходит не только путем спаривания, но и посредством электромагнитных взаимосвязей между особями.

Все эти виды биоинформации третьего типа могут быть связаны с многократной передачей сигналов ЭМП на протяжении длительного времени. Передаваемая таким путем информация может постепенно накапливаться в воспринимающих организмах. Представить себе, как можно было бы осуществить экспериментальную проверку гипотезы о существовании такой биоинформации, пока довольно трудно. Можно указать только на применяемые зоологами методы наблюдения за развитием и поведением особей, изолированных от сородичей по популяции, добавив к ним экранирование от электромагнитных воздействий.

Четвертый тип биоинформации можно предположить как одну из возможных причин, обусловливающих поведение и развитие животных в группах и сообществах в их взаимодействии с ЭМП внешней среды.

Иллюстрацией этого типа биоинформации может служить тот экспериментально установленный факт, что при сравнительно

низких способностях к ориентации у отдельных птиц эта способность в их сообществе весьма высока. Отмечая этот факт, Наумов и Ильичев (1965) указывают: «Сообщество в данном случае нередко выступает как посредник между особью и различными факторами среды, как единый «организм» с взаимообусловленной взаимосвязью». Нам представляется, что эта идея может оказаться весьма плодотворной в попытках выяснить загадочный пока механизм ориентации и навигации животных.

Возможно, что с проявлением такого рода «посредничества» мы столкнемся и при рассмотрении причин, побуждающих животных к миграции. По этому поводу существуют разноречивые мнения, и мы приведем только высказывания Шовена (1965): «Никому пока не удавалось объяснить, почему саранча избирает то или иное направление, почему прилетает, почему улетает. Первая предложенная гипотеза была, естественно, самой простой: саранча (и вообще все мигрирующие животные) снимается с места, отправляясь в поисках корма. *Но это абсолютно неверно — как в отношении саранчи, так и в отношении всех мигрирующих животных.* Напротив, саранча может сняться с совсем еще неиспользованного тучного пастбища и улететь в пустыню на верную гибель или сотнями миллиардов ринуться в морскую пучину». И далее он пишет: «Исступление, охватывающее млекопитающих во время миграции, представляется мне проявлением какого-то глубокого нарушения нейро-эндокринной системы, не имеющего определенного и прямого отношения к пище, но, быть может, вызванного какими-то невыясненными резкими изменениями метеорологических условий. Некоторые авторы говорили в этой связи о циклах солнечной активности...»

Как нам кажется, можно было бы попытаться подойти к причинам миграции животных, опираясь на рассмотренные выше данные и соображения о регулирующем влиянии периодически изменяющихся природных ЭМП и нарушающем влиянии спонтанно возрастающих ЭМП. Например, известно, что многие виды птиц весной мигрируют из тропических областей в средние и северные широты. Но в тропическом поясе сосредоточены основные очаги гроз — число грозовых дней здесь достигает 180—200 в году и особенно часты грозы в весенне-летний период. Значительно ниже грозовая активность в средних и северных широтах: в СССР, например, она варьирует от 40—50 дней в году на Кавказе до 5 — на северном побережье страны.

Это сопоставление наводит на мысль: не является ли грозовая активность одной из существенных причин, побуждающих птиц к весенней миграции из тропических широт в средние и северные? Мы уже указывали, что ЭМП оказывают особенно заметное нарушающее влияние на процессы развития организмов — от зародышевого состояния до формирования взрослой особи. Возможно, что подобное вредное воздействие со стороны

ЭМП, возникающих при атмосферных разрядах, и является причиной того, что птицы мигрируют для выведения птенцов в районы со слабой грозовой активностью. Такое воздействие должно было бы в меньшей степени угрожать млекопитающим, развивающимся в утробе матери, и другим животным, зародыши которых развиваются под естественной защитой, например в земле или в морской воде. Быть может, и загадочная миграция угрей для размножения на больших глубинах в Саргассовом море также связана с особой защитой зародышей от воздействия атмосферных полей?

Концепция об информационных функциях ЭМП в живой природе может оказаться плодотворной и в подходе к решению вопроса о механизмах, регулирующих численность популяций животных, а быть может и к проблеме динамического равновесия в биосфере.

Очевидно, что факторы, от которых зависит величина популяции, разнообразны и в ряде случаев еще неизвестны, что размеры популяции регулируются механизмами типа обратной связи — сама величина популяции влияет на скорость ее роста (Эрлих, Холм, 1966). Попробуем подойти к этим вопросам на основе предположения о существовании ЭМП-взаимосвязей, создающих в популяции некий суммарный «электромагнитный фон».

Выше мы видели (§ 8.2), что в экспериментах с животными различных видов обнаружено ингибирование размножения под действием ЭМП. Можно представить себе, что при достижении некоторой критической плотности популяции интенсивность этого фона повышается настолько, что он становится фактором, ингибирующим размножение. Развивая эту гипотезу, можно допустить, что ЭМП-взаимосвязи регулируют и взаимоотношение между численностями популяций различных видов. Здесь уже каждая популяция выступает как единый «организм», взаимодействующий с другими такими организмами, а также с ЭМП внешней среды.

Но вернемся к вопросу об ориентации и навигации животных. Попробуем подойти к нему на основе описанных выше экспериментальных данных об ориентационном влиянии на животных электрического и магнитного полей Земли. Относительно слабая способность к ориентации такого рода у отдельных особей значительно возрастает в их сообществе: здесь мы сталкиваемся, по-видимому, с самоорганизующейся, самокорректирующейся системой, значительно более совершенной, чем составляющие ее элементы, или, иначе говоря, со свойством «сверхаддитивности» живых систем, о котором говорил Фёрстер (1965).

Наряду с ориентацией по магнитному и электрическому полям Земли не исключена возможность и другого механизма ориентации (см. стр. 237) — по своеобразному «живому маяку»,

представляющему собой совокупное излучение от группы животных; при «хоминге» это может быть излучение, исходящее от птенцов (или взрослых птиц и «соседей» по гнездовью), при миграции мальков угрей в пресные воды — излучения от взрослых особей, находящихся в «местах назначения».

Как же подойти к эксперементальной проверке гипотезы о существовании четвертого вида биоинформации? Задача эта значительно сложнее, чем в предыдущих случаях, но некоторые схемы постановки исследований можно все же наметить:

1. Наблюдения за поведением животных в естественных условиях, например: сопоставление численности птиц, покидающих данные области зимовок, с характеристиками грозовой активности в этих областях; выявление корреляции между показателями численности популяций и спонтанными возрастаниями интенсивности природных ЭМП; то же самое — в отношении внезапных миграций животных.

2. Наблюдения за развитием птенцов в условиях искусственно создаваемых электромагнитных помех в местах гнездовий, наблюдения за «хомингом» при наличии электромагнитных помех в естественных условиях или в экспериментальных клетках.

3. Сопоставление влияния электромагнитных помех на ориентационные способности у отдельных животных, в группах и сообществах; исследование ориентационных способностей при экранировании.

13.4. О парапсихологических исследованиях

Обсуждая вопросы обмена информацией посредством ЭМП в мире животных, нельзя пройти мимо так называемой «проблемы парапсихологии», которая на протяжении десятков лет является предметом многочисленных исследований и статей в специальных и научно-популярных журналах и по поводу которой ныне ведутся весьма острые дискуссии.

Мы не собираемся анализировать здесь доводы сторонников и противников парапсихологии, а постараемся объективно описать ее современное состояние и выскажем некоторые соображения как по поводу самой проблемы, так и о применяемых для ее изучения методах исследования.

Изучение парапсихологических явлений началось с организации в 1882 г. в Лондоне «Общества для исследования психических явлений» (Society for Psychical Research). В проблему парапсихологии включают целый ряд «сверхпсихических» способностей человека — способность передавать и принимать мысленную информацию без помощи известных органов чувств («телепатия»), определять вид и местонахождение предметов, недоступных чувственному восприятию («телеэстезия»), мыслен-

ным усилием передвигать предметы («телекинез»), угадывать прошлое («ретроскопия»), предсказывать будущее («перескопия»). А зачастую к парапсихологии относят и различные «феномены» из арсенала спиритизма. Если говорить об исследованиях, к которым можно в какой-то мере подходить с точки зрения научной, то следует ограничиться только телепатией и телеэстезией.

Методы парапсихологических исследований телепатии и телеэстезии сводятся в основном к следующему (Васильев, 1962а, 1962б).

1. Наблюдения и анализ случаев так называемой «спонтанной телепатии», когда у людей внезапно возникает чувство тревоги за своих близких, о которых в данный момент нет никаких сведений. Это либо неопределенное ощущение беспокойства, либо ощущение, имеющее определенную окраску,— убежденность в заболевании близких, в происшедшем с ними несчастьи или, наконец, в их смерти.

2. Опыты по выполнению «перципиентом» (принимающим) мысленного задания от «индуктора» (передающего) либо при контакте между ними (перципиент держит индуктора за руку), либо в отсутствие контакта.

3. Эксперименты с картами Зенера (на каждой из которых изображена одна из пяти геометрических фигур), заключающиеся в мысленной передаче от индуктора перципиенту случайно подобранной последовательности карт.

4. Эксперименты по угадыванию перципиентом вида предметов, недоступных зрительному восприятию.

Об исследованиях такого рода опубликован ряд статей и даже монографий (Rhine, Pratt, 1957; Soal, Bateman, 1954; Ryzl, 1926; Манчарский, 1964; Васильев, 1962а, 1962б и др.). В этих работах описаны многочисленные случаи телепатии и телеэстезии которые (в опытах с «особо чувствительными» испытуемыми) якобы наблюдались при весьма больших расстояниях между индуктором и перципиентом (до нескольких тысяч километров!) и при нахождении одного из испытуемых в экранированной камере.

Исходя из этих данных, парапсихологи утверждали, что телепатическая связь не зависит ни от расстояния, ни от каких-либо материальных преград. В связи с этим выдвигались гипотезы об особых «биологических видах энергии» — «пси-полях», «биологических квантах» и т. п. (Wasserman, 1966), рассматривались такие всепроникающие агенты, как нейтрино и гравитационные поля (Ruderfer, 1952). Наряду с этим высказывали соображения и об электромагнитной природе телепатической связи, предполагая, что она происходит либо на чрезвычайно высоких частотах — от 10^{18} до 10^{20} *гц* (Bibbero, 1951), либо в весьма

широкой полосе частот — от инфранизких до сверхвысоких (Манчарский, 1964), либо на сверхдлинных радиоволнах (Коган, 1966).

Электромагнитная концепция телепатической связи, казалось бы, подтверждалась и экспериментально. Первые опыты проводил итальянский исследователь Каццамали (Cazzamali, 1925, 1928, 1929, 1935, 1936, 1941). Он помещал испытуемого в экранированную камеру, где находились радиоприемники на диапазоны частот от 3 до 400 *Мгц* и широкополосный генератор (60—400 *Мгц*). Каццамали утверждал, что когда испытуемый находился в состоянии сильного эмоционального возбуждения, методом «биений» удавалось зарегистрировать электромагнитные излучения во всем исследовавшемся диапазоне. Позднее о радиоизлучениях мозга человека сообщал Турлыгин (1942). Он исследовал реакцию испытуемого (потоотделение) на бессловесное гипнотическое внушение, экранируя гипнотизера, применяя отражательные экраны и дифракционные решетки. Автор пришел к заключению, что гипнотизер излучал радиоволны в диапазоне 1,8—2,1 *мм*.

К опытам Каццамали многие физики отнеслись скептически, считая, что наблюдавшиеся сигналы были результатом различных побочных явлений. Так, Петровский (1926) предполагал возможность самовозбуждения радиоприемников за счет изменения положения тела испытуемого, которое можно рассматривать как пассивную антенну; Хольман (Holman, 1952) считал, что излучение передатчика могло возбуждать электромагнитные колебания в камере как в объемном резонаторе, а изменение электрических параметров тела испытуемого при эмоциональном возбуждении могло служить причиной модуляции этих колебаний.

До последнего времени не появлялось сообщений о воспроизведении опытов Каццамали по электромагнитным излучениям мозга. Однако другие его эксперименты (1941) — возникновение галлюцинаций у испытуемых под действием ЭМП исследуемого диапазона — были недавно успешно воспроизведены (Jaski, 1960)

Итак, казалось бы, накоплен уже большой экспериментальный материал по телепатии и имеются основания обсуждать вопрос о физической природе телепатической связи. Но достаточно ли достоверны результаты телепатических исследований? Посмотрим, что по этому поводу говорят сами исследователи телепатии.

На специальном симпозиуме парапсихологов, состоявшемся в 1956 г. (Ciba Foundation Simposium on Extrasensory perception) были высказаны следующие сомнения.

1. Не являются ли результаты опытов с картами Зенера следствием несовершенства применявшихся методов статистической обработки данных?

2. Известно немало случаев «ложной телепатии», когда имела место кодированная передача сведений испытуемому от его помощника или улавливание испытуемым невольных внешних проявлений у присутствующих на опыте.

3. Настораживает тот факт, что результаты опытов по телепатии, как правило, не воспроизводятся.

Подобные сомнения побудили американского исследователя Ханзеля (Hansel, 1966) тщательно проанализировать методы и результаты практически всех известных экспериментов по телепатии, проведенных за последние 80 лет (вплоть до 1966 г.). Раскрыв ту или иную методическую погрешность в ранних телепатических опытах, он воспроизводил эти опыты, подробно объясняя, где именно и при каких условиях эта погрешность имела место. Современные же эксперименты Ханзель в ряде случаев повторял (вместе с их авторами), стараясь как можно точнее воспроизвести соответствующие экспериментальные условия. Все это привело Ханзеля к категорическому заключению, что *все без исключения результаты телепатических исследований недостоверны* и являются следствием неверной постановки экспериментов или неправильной статистической обработки данных и что в большинстве случаев имел место сознательный или бессознательный обман. По поводу же некоторых «сенсационных» результатов автор высказывает весьма резкие суждения, уличая авторов, например Райна и Соула (Rhine, Soal), в сознательной подтасовке экспериментальных данных.

Несмотря на столь категоричные заключения, Ханзель не отвергает возможности существования телепатических явлений, а ставит вопрос о необходимости получения убедительных доказательств на основе корректно поставленных и обязательно воспроизводимых экспериментальных исследований.

Мы склонны согласиться с заключением Ханзеля о недостоверности результатов телепатических исследований (оставляя на совести автора его обвинения исследователей в сознательной подтасовке экспериментальных данных), а также с его призывом заменить «парапсихологические» методы исследований более совершенными. Однако нам представляются неудачными не только сами методы этих исследований, но и выбор объекта для них — человека. К такому заключению приводит общебиологический подход к проблеме биоинформации в ее эволюционном аспекте.

Способность животных обмениваться сигналами на расстоянии без помощи известных органов чувств можно рассматривать как сформировавшееся в процессе эволюции свойство, обеспечивающее дополнительные шансы на выживание индивидуума, на успех в борьбе за существование, на сохранение вида. Однако у человека, по мере того как он создавал все более разнообразные и совершенные средства искусственной связи, способность

к такой сигнализации должна была все более угасать и наконец совсем утратиться. Иначе говоря, эта способность у современных людей может встречаться только весьма редко как рудимент, как атавистический признак. Поэтому-то человек и является наименее подходящим объектом для изучения биоинформации — ее надо исследовать в опытах с животными, путем наблюдений за особенностями их поведения с помощью описанных выше методов.

Не исключена, однако, и возможность того, что добившись успеха в опытах с животными, можно будет предпринять более совершенные исследования для выявления атавистической способности к биоинформации и среди людей, а может быть, найти методы для стимуляции этой способности (например, с помощью соответствующей тренировки или каких-либо стимуляторов).

Как мы указывали, биоинформация у животных, находящихся на значительных расстояниях друг от друга, чаще всего проявляется в связи с теми или иными эмоциональными побуждениями и состояниями.

Если у людей и возможна биоинформация, то она также должна бы проявляться при эмоциональных состояниях. Поэтому перечисленные выше парапсихологические методы исследования телепатической связи представляются неудачными. В самом деле, вряд ли у индуктора могут возникать какие-либо эмоциональные побуждения от фигур, изображенных на картах Зенера, или при мысленном повторении задания, которое он должен «передать» перципиенту. Нет оснований для возникновения эмоционального состояния и у перципиента, ожидающего «приема» таких разумных заданий.

* * *

Итак, рассмотренные выше экспериментальные данные о генерации и рецепции ЭМП у животных позволяют предполагать, что наблюдаемая в ряде случаев сигнализация между животными, физическая природа которой пока не выяснена, осуществляется с помощью ЭМП. Намечаются уже пути исследований для непосредственного обнаружения такой сигнализации между животными. Вместе с тем пока нет ни теоретических, ни экспериментальных оснований предполагать существование биоинформации (или так называемой «телепатической связи») у людей, так как данные парапсихологических исследований, очевидно, нельзя считать достоверными.

Глава 14

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Исходя из рассмотренных экспериментальных данных и теоретических соображений о биологическом действии ЭМП и о роли ЭМП в жизнедеятельности организмов, можно указать области практических приложений описанных эффектов и обсудить некоторые перспективы в этом направлении.

Мы не будем рассматривать разнообразные радиоэлектронные устройства, нашедшие то или иное применение в медицине, биологии и сельском хозяйстве. Показателем того, сколь широка область таких применений, может служить тот факт, что уже на протяжении ряда лет регулярно проводятся международные конгрессы по применению радиоэлектроники в медицине и биологии. Обсудим здесь только некоторые направления исследований различных проявлений биологической активности ЭМП, которые представляются перспективными в свете решения практических задач медицины и сельского хозяйства, биологии и бионики и т. п.

14.1. ЭМП в терапии и диагностике

В физиотерапии давно уже используются ЭМП различных частотных диапазонов как средство для лечения разнообразных заболеваний. Эти методы терапии применяются как при контактном воздействии ЭМП на больного (гальванизация, фарадизация, ионофорез, диатермия и др.), так и при воздействии на расстоянии (статдуш, дарсонвализация, индуктотермия, УВЧ-терапия и др.). С освоением в радиотехнике СВЧ-диапазона возникла новая область физиотерапии — «микроволновая терапия», которая быстро нашла применение для лечения ряда заболеваний. Из обзоров по микроволновой терапии (Schwan, Piersol, 1954; Alm, 1958; Пресман, 1960; Пресман и др., 1961; Скурихина, 1961, 1962 и др.) можно видеть, что она успешно используется для лечения мышечно-скелетных заболеваний, различных заболеваний глаз, гинекологических заболеваний, болезней зубов и т. п.

Однако введение в физиотерапию нового диапазона — СВЧ — происходит на основе старых традиций, сложившихся в практике применения более низкочастотных ЭМП: воздействие производится при высоких интенсивностях СВЧ-полей, вызывающих значительное нагревание тканей, или при средних интенсивностях (так называемых «олиготермических»), когда нагревание все еще имеет существенное значение. Между тем рассмотренные выше результаты экспериментальных исследований биологического действия ЭМП указывают на то, что более эффективного воздействия СВЧ-полей (да и других диапазонов ЭМП) можно ожидать скорее при малых, нетепловых интенсивностях облучения. Из этих

исследований вытекает возможность воздействия на определенные регуляторные системы человеческого организма в желательном направлении. Представляются перспективными следующие основные направления разработки новых методов терапевтического воздействия ЭМП.

1. Использование «ваготонического эффекта» ЭМП, возникающего при общем облучении тела человека и животных и особенно при непосредственном воздействии на периферические рецепторные зоны, что легко осуществимо в СВЧ-диапазоне.

То, что уже известно об этом эффекте, дает надежду, что он может быть использован, по крайней мере, как симптоматическое средство при гипертонии неврогенного происхождения. И в этом направлении уже достигнуты некоторые успехи (Обросов, 1963; Obrosov; Jasnogorodski, 1961; Обросов и др. 1963). Дальнейшие исследования должны быть направлены на выявление параметров ЭМП, необходимых для их адекватного воздействия на регуляцию функций сердечно-сосудистой системы. При планировании таких исследований следует учитывать различие в эффектах, возникающих при непосредственном воздействии ЭМП на периферические отделы нервной системы и на структуры головного мозга, и что во втором случае эффект возникает только при малых интенсивностях. Наконец, следует учитывать и кумулятивный характер влияния ЭМП малой интенсивности на сердечно-сосудистую регуляцию.

2. Изучение механизма стимулирующего влияния ЭМП на функции кроветворения и состав крови, обнаруженного и у животных и у людей.

Особый интерес представляют такого рода эффекты при лучевых повреждениях; при этом существенная стимуляция образования лейкоцитов наблюдается не только при воздействии ЭМП до или во время ионизирующего облучения, но, что весьма важно для возможного терапевтического применения, и после лучевого поражения. При планировании дальнейших исследований в этом направлении следует, по-видимому, отдать предпочтение многократным слабым воздействиям ЭМП по сравнению с сильными кратковременными или средними продолжительными. Что касается выбора параметров воздействующих ЭМП, то следует учитывать, что влияние ЭМП на иммунные свойства организма и при лучевом повреждении, и при инфекциях отмечено как в СВЧ-, так и в низкочастотном диапазоне, а также со стороны постоянного магнитного поля.

3. Исследование ингибиторного действия ЭМП на злокачественные опухоли, обнаруженного пока только в опытах на животных.

Здесь, по-видимому, исследования должны идти в трех основных направлениях для выяснения, во-первых, влияния ЭМП различных частот и постоянного магнитного поля, во-вторых, влия-

ния вводимых больным экстрактов из нормальных тканей, предварительно подвергнутых воздействию ЭМП, и, в-третьих (и это кажется наиболее перспективным), влияния комбинированного воздействия полей УВЧ- и СВЧ-диапазонов с постоянным магнитным полем. Во всех этих исследованиях необходимо учитывать экспериментальные данные о генетических эффектах ЭМП, данные опытов с эмбрионами и с растущими клеточными культурами.

4. Изучение влияния спонтанных изменений природных ЭМП на динамику нервно-психических и сердечно-сосудистых заболеваний (в клинических наблюдениях такое влияние обнаружено).

Уже теперь были бы целесообразны такие практические мероприятия, как широкая организация постоянных пунктов «медико-метеорологической службы», которые обеспечивали бы своевременное принятие профилактических мер в периоды «магнитных бурь» и других спонтанных нарушений нормальной интенсивности природных ЭМП. Такие меры могут быть не только чисто медицинскими (постельный режим, медикаменты и т. д.), но и медико-техническими; так, например, на время магнитных бурь больных можно было бы помещать в экранированные камеры или в обычных палатах обеспечивать компенсацию влияния магнитных бурь с помощью противоположно направленных искусственно создаваемых полей. Возможно, что в дальнейшем удастся разработать и специальные индивидуальные приборы для компенсации воздействия спонтанных изменений природных ЭМП.

5. Дальнейшее изучение биологического действия «намагниченной» и «активированной» воды.

Экспериментальные исследования этих эффектов только начинаются, но уже первые результаты (влияние «намагниченной» воды на рост почечных камней и на развитие животных, опыты Пиккарди с «активированной» водой) не могут не привлечь внимания медиков.

Эти примеры не исчерпывают, конечно, возможных перспектив применения ЭМП в терапевтических целях. Следует подчеркнуть то общее обстоятельство, что во всех случаях применения ЭМП с целью получения желательных сдвигов в патологических изменениях, мы не гарантированы от возможного нарушения и нормальных физиологических процессов в организме; однако при слабых воздействиях такие нарушения обычно быстро обратимы и в той же мере допустимы, как и побочные эффекты при применении ряда других терапевтических средств. Очевидно, что максимального успеха можно будет добиться только тогда, когда будут выяснены механизмы электромагнитных управляющих систем и зависимость их функционирования от влияния природных ЭМП.

В различных методах электродиагностики (электрокардиография, электромиография, электроэнцефалография и др.) до пос-

леднего времени использовались либо контактные электроды, прикладываемые к соответствующим участкам тела, либо зонды, вводимые в полости тела. В последнее время разрабатываются и различного рода «радиозонды» — вводимые в полости тела и даже в артерии миниатюрные радиопередатчики, дающие информацию о различных химических и физических параметрах, преобразуемых в электрические (Гольдсмит, 1966).

Наряду с этим разработаны уже методы диагностики, основанные на индикации электромагнитных излучений организма. Примером таких устройств может служить упоминавшийся выше «магнитокардиограф», регистрирующий состояние сердечной деятельности по импульсам магнитных полей. Разработан также метод бесконтактного исследования кровообращения, основанный на измерении степени поглощения энергии СВЧ-полей в обследуемом организме (Москаленко, 1958, 1960). Наконец, в диагностических целях измеряются электрические параметры тканей тела в различных частотных диапазонах, особенно эффективно — в СВЧ-диапазоне (Ливенсон, 1964а).

Для дальнейших исследований возможности использования ЭМП в диагностических целях можно наметить следующие перспективные направления:

1. Изучение возможности использования электромагнитных излучений от органов и тканей, экспериментально обнаруженных и у животных, и у человека.

Использовать регистрацию таких излучений для диагностики можно будет только в том случае, если удастся обнаружить различие в характере излучений при нормальных и при патологических состояниях, в чем и заключается одна из первых задач такого рода исследований. В этом же плане представляет интерес и регистрация (с помощью контактных электродов) таких изменений потенциалов поверхности тела, которые отражают деятельность вновь открытых электромагнитных управляющих систем (например, описанной выше системы, связанной с медленной передачей информации о боли и с психической деятельностью).

2. Разработка методов бесконтактного измерения электрических параметров и определения структуры тканей in vivo (в частности, мозговых), а также бесконтактного измерения активности нервных тканей.

Основой измерения электрических параметров может служить метод оценки импеданса внутренних тканей по характеру отражения и поглощения полей УВЧ- и СВЧ-диапазонов, а основой определения структуры тканей — анализ возникающих в них стоячих волн (Adey et al., 1962, 1963).

Бесконтактное измерение активности нервных тканей представляется возможным с помощью оценки концентрации свободных радикалов в возбужденной нервной ткани по методу электронного парамагнитного резонанса (Kelly, 1962, 1963).

3. Сопоставление спектров поглощения ЭМП (и диэлектрических параметров) нормальных и злокачественных тканей in vitro.

Основой для постановки таких исследований могут служить упомянутые ранее различия в резонансном поглощении низкочастотных ЭМП нормальными и злокачественными тканями и аналогичные различия в диэлектрических параметрах, измеряемых в СВЧ-диапазоне.

4. Исследование возможности применения ЭМП различных частотных диапазонов в качестве стимулирующего фактора при функциональных исследованиях.

Результаты описанных выше экспериментов показывают, что при определенном выборе параметров ЭМП можно будет осуществлять непосредственное воздействие на тот или иной отдел нервной системы: вызывать ваготоническую реакцию, воздействуя на периферические рецепторные зоны, или симпатикотоническую, воздействуя на структуры головного мозга; активизировать или подавлять электрическую активность в различных участках головного мозга без введения в них электродов; выявлять способность кроветворного аппарата к повышенному продуцированию лейкоцитов и т. д.

Все это только первые наметки возможных приложений ЭМП в терапии и диагностике. По мере получения новых экспериментальных данных о биологическом действии ЭМП, об электромагнитных управляющих системах, о генерации ЭМП в организме человека область таких приложений несомненно будет расширяться, но в каком направлении — заранее предсказать трудно.

14.2. ЭМП как гигиенический фактор

Проблема профессиональной вредности ЭМП различных частотных диапазонов уже в значительной степени изучена, главным образом благодаря исследованиям советских гигиенистов. Следует подчеркнуть, что именно с гигиенических позиций впервые был решен вопрос о биологическом действии слабых ЭМП при нетепловых интенсивностях. К настоящему времени уже определены и введены в практику предельно-допустимые интенсивности для ЭМП различных частотных диапазонов — от высокочастотного до сверхвысокочастотного (Осипов, 1965; Гордон, 1966); благодаря введению соответствующих мер защиты и профилактики практически ликвидирована возможность неблагоприятного воздействия ЭМП высоких и сверхвысоких частот в условиях испытания и эксплуатации соответствующих генераторов. Проводятся интенсивные исследования и для выяснения возможной профессиональной вредности низкочастотных ЭМП и статических полей.

Значительно меньшее внимание уделяется пока изучению биологического действия ЭМП с позиций коммунальной гигиены.

И это понятно: ведь если одной из причин исследований влияния ЭМП в производственных условиях послужили жалобы лиц, работающих вблизи генераторов, на некоторые (хотя и незначительные) изменения состояния здоровья, то вряд ли к врачам обращались по поводу недомоганий, которые связывали бы с наличием в окружающем пространстве электромагнитных полей, излучаемых радио- и телевизионными станциями.

Вместе с тем работники коммунальной гигиены ставят законный вопрос: если установлено неблагоприятное влияние довольно слабых ЭМП, возникающих в производственных условиях, то можно ли исключить возможность такого влияния на людей, живущих в окрестности мощных радиостанций? Пока нет оснований ни для положительного, ни для отрицательного ответа на этот вопрос. Однако это не значит, что постановка такого вопроса беспочвенна. Попробуем разобраться в этом на основе экспериментального материала, изложенного в предыдущих главах.

Как мы указывали (§ 2.6), вблизи радио- и телевизионных станций интенсивность ЭМП может составлять десятые доли *в/м* и выше, а средний уровень «радиофона» по крайней мере на 1—2 порядка выше уровня атмосферных помех. В обоих случаях мы имеем дело с интенсивностями не ниже тех, при которых обнаружены различные проявления биологического действия ЭМП. Таким образом, казалось бы, что принципиально возможно некоторое, хотя бы и незначительное, влияние «радиофона» на людей. Однако в отличие от производственных условий, где человек подвергается «циклическому» воздействию ЭМП (только в течение части или всего рабочего дня), воздействие «радиофона» практически постоянно. Что хуже с точки зрения возможности неблагоприятного воздействия? Известно, что если внешнее воздействие (при котором, конечно, возможны компенсаторные реакции) длится достаточно долго, то в организме возникают стойкие изменения приспособительного характера. Следовательно, можно рассчитывать, что организм человека достаточно приспособился к постоянному присутствию «радиофона». Вместе с тем известно также, что приспособление к постоянному воздействию может быть связано и с возбужденным состоянием нервной системы (как, например, при постоянном воздействии шума), а, значит, может привести к тем или иным функциональным нарушениям.

Таким образом, вопрос о возможности неблагоприятного влияния «радиофона» на человека еще ждет своего решения (как, впрочем, и вопросы о неблагоприятном влиянии ряда других искусственно возникших факторов). Очевидно, что здесь прежде всего может помочь соответствующее статистическое обследование, например сопоставление всесторонних данных о состоянии здоровья лиц, живущих вблизи мощных радиостанций, и лиц, живущих в зонах со средним уровнем «радиофона».

Не менее интересен вопрос и о влиянии «радиофона» на развитие животных и растений: в какой степени эти организмы могут приспособиться к этому постоянному воздействию?

14.3. Биологические эффекты ЭМП в практике сельского хозяйства

Некоторые эффекты, наблюдаемые при действии ЭМП на растения и животных, дают надежду на то, что в недалеком будущем будут разработаны методы направленного воздействия ЭМП на сельскохозяйственные растения и животных. Представляются перспективными следующие направления исследований.

1. Экспериментальные данные показывают, что при определенных условиях ЭМП могут оказывать стимулирующее действие на рост и развитие сельскохозяйственных растений. Такого рода влияние представляется вероятным как при непосредственном воздействии ЭМП различных частот и статических полей на семена и проростки, так и опосредованно — путем «обработки» этими полями воды, предназначенной для полива растений. Представляют интерес и исследования влияния природных ЭМП на сельскохозяйственные растения, в частности эффект стимуляции роста при высадке семян ориентированно относительно геомагнитного поля. Наконец, не исключена возможность выбора таких параметров ЭМП, при которых станет возможным их избирательное ингибиторное действие на сорняки.

2. Выше было описано влияние ЭМП на процессы размножения насекомых. А в специальных экспериментах (Barker et al., 1956) удалось добиться стопроцентной гибели амбарных долгоносиков и мучных жучков под действием СВЧ-полей. В связи с этим представляются актуальными дальнейшие исследования такого рода для разработки нового метода уничтожения зерновых вредителей.

3. В последнее время обсуждают возможность (Райт, 1964) «биологической стерилизации» насекомых с помощью насыщения зоны их обитания запахом половых аттрактантов, что может резко уменьшить вероятность встреч самцов с самками. Если, как мы полагаем, существует и электромагнитная связь между насекомыми разного пола, то возможным становится ее нарушение путем создания соответствующих «радиопомех» или путем отвлечения самцов имитированными электромагнитными сигналами самок.

4. Особый интерес в свете приложения к сельскому хозяйству представляют генетические эффекты ЭМП. Полученные уже экспериментальные данные позволяют надеяться, что, воздействуя на животных и растения ЭМП с определенными параметрами, можно будет получать желаемые мутации, влиять на соотношение полов в потомстве и т. д.

14.4. ЭМП и космическая биология

В ряду разнообразных проблем космической биологии за последние годы некоторые зарубежные ученые (Beisher, 1962, 1965; Alexander, 1962; R. Becker, 1963; Гольдсмит, 1966 и др.) ставят вопросы, связанные с биологическим действием ЭМП.

Пока космические полеты людей, животных и растительных организмов происходили на сравнительно небольших расстояниях от Земли, где земные условия в отношении природных ЭМП только ослаблены. А как будет обстоять дело в дальних космических рейсах, когда люди и все живое на корабле будут лишены влияния земных ЭМП? Будут ли при этих условиях нормально протекать процессы жизнедеятельности в «микробиосфере» корабля? Первые наблюдения над испытуемыми, находившимися на протяжении 10 дней в условиях компенсации воздействия магнитного поля Земли (Beischer, 1965), не показали заметных физиологических изменений, но было отмечено некоторое нарушение процесса зрительного восприятия — понижалась пороговая частота различения отдельных мельканий.

Поднимают вопросы и противоположного характера: какое влияние на живое население корабля будут оказывать сильные магнитные поля, которые предполагают применять для защиты от космических лучей? Как живые организмы будут реагировать на слабые магнитные поля космического происхождения, периодичность изменения которых отлична от геомагнитной?

Наряду с этим нельзя исключить из рассмотрения космических условий и такие особенности, как отсутствие в корабле электрического поля Земли и ЭМП атмосфериков.

В свете описанных выше экспериментальных данных о влиянии природных ЭМП на живые организмы все эти вопросы нельзя априорно рассматривать как беспочвенные. И самый факт постановки этих вопросов на страницах зарубежных журналов по астронавтике и космической биологии следует считать вполне оправданным.

14.5. Применение ЭМП в биологических исследованиях

В практике различных биологических исследований ЭМП нашли уже широкое применение. Достаточно указать хотя бы на радиоспектроскопию биологических объектов, особенно методами электронного парамагнитного и ядерного магнитного резонанса. Приведем примеры некоторых методов биологических исследований с использованием ЭМП, разработанных за последние годы.

В ряде исследований (Haggis et al., 1951; Buchanan et al., 1952; Grant, 1957) применялся метод оценки степени гидратации белковых молекул по дисперсии комплексной диэлектрической про-

ницаемости в СВЧ-диапазоне; этот метод достаточно прост, хотя и не дает еще высокой точности измерения. Измерения электропроводности внутриклеточного содержимого в СВЧ-диапазоне (Cook, 1952б) оказались значительно более точными, чем при ранее применявшихся методах. Разработаны методы измерения электрических параметров кристаллических белков, аминокислот и пептидов в широком диапазоне частот — от 1000 *гц* до 4000 *Мгц* (Bayley, 1951). Специальные методы измерения комплексной диэлектрической проницаемости тонких пленок и волокон в СВЧ-диапазоне (Shaw, Windle, 1950) дают возможность качественно и количественно оценить адсорбцию воды на волокнах шерсти (Windle, Schaw, 1954, 1956).

На возможные перспективы использования ЭМП как «инструмента» в биологических исследованиях указывают результаты рассмотренных выше экспериментальных исследований биологического действия ЭМП.

1. Индикация ЭМП, генерируемых в различных частях целостного организма, интересна не только как показатель электромагнитных процессов, связанных с жизнедеятельностью, но и как тест при выяснении механизмов физиологических процессов. С другой стороны, с помощью ЭМП можно осуществлять локальные воздействия на те или иные структуры организма без грубого нарушения происходящих в них процессов, подлежащих исследованию. Не менее интересно применение ЭМП при изучении условнорефлекторной деятельности, так как этот фактор может служить условным раздражителем, не вызывающим заметной реакции известных органов чувств. Наконец, воздействуя на организмы электромагнитными полями, параметры которых близки к параметрам, характерным для биоэлектрической активности, можно получить дополнительную информацию о роли этой активности в физиологических процессах.

2. При исследовании культур клеток и одноклеточных организмов ЭМП соответствующих частот и интенсивностей могут быть использованы и как ингибирующий, и как возбуждающий фактор. Измерение электрических свойств клеточных суспензий в различных частотных диапазонах может быть одним из плодотворных методов выявления характера клеточных структур (как это уже показали некоторые исследования подобного рода). Значительный интерес представляет возможность воздействия ЭМП на внутриклеточные системы и особенно на генетический аппарат: ведь с помощью такого воздействия можно провоцировать изменения внутриклеточных структур (например, хромосомные аберрации) при нормальном химическом составе среды и нормальных физических условиях.

3. Весьма плодотворным может оказаться применение ЭМП в экспериментах на молекулярном уровне. Исследования изменения оптических свойств белковых растворов под действием ЭМП,

резонансного поглощения ЭМП молекулами в растворах и в кристаллическом состоянии, диэлектрических свойств белковых молекул в различных частотных диапазонах ЭМП — все это поможет более детально разобраться в структуре макромолекул. Изучение же электромагнитной взаимосвязи между макромолекулами может привести к выяснению механизма таких взаимодействий, как между ферментом и субстратом, ДНК и РНК и т. п.

14.6. Биологическая активность ЭМП и бионика

По определению Мак-Каллока (1965), главным содержанием бионики является изучение тех приемов, к которым прибегает природа для решения различных задач, а конечной ее целью — воплощение этих приемов в виде инструментов и приборов. Здесь бионике отводится одна из главных ролей в биологии: изучение структуры и функций биологических систем, природы различных биологических процессов, механизмов взаимодействий, обусловливающих существование и развитие живых организмов. Резонно ли включение в бионику всех этих проблем? Думается, что резонно, так как решение их под силу только широкому содружеству представителей различных научных дисциплин — биологов и медиков, биофизиков и биохимиков, физиков и математиков, кибернетиков и инженеров, а такая ситуация и создается вокруг бионики.

В свете такого подхода к содержанию бионики ей и предстоит решать задачи, связанные с выяснением механизмов биологической активности ЭМП, установить физико-биологические основы участия ЭМП в жизнедеятельности организмов. Перечислим кратко некоторые задачи такого рода.

1. Изучение принципов построения «многоступенчатой» электромагнитной регуляции в живых организмах, установление структурных и функциональных схем биологических систем, участвующих в такой регуляции, оценка их «рабочих параметров» и т. д.

Еще раз подчеркнем, что изучение надо начинать с целостного организма, в естественных условиях его существования. Только установив общую схему регуляции в организме, выявив «иерархию» этой регуляции, можно переходить к изучению отдельных изолированных систем и составляющих их элементов.

2. Изучение механизма нормализующих и нарушающих влияний ЭМП внешней среды на регуляцию процессов жизнедеятельности организмов и на их развитие, обусловливающее наиболее оптимальную взаимосвязь организма с внешней средой.

Особый интерес представляет вскрытие механизмов весьма высокой и избирательной чувствительности живых организмов к ЭМП, высокой помехоустойчивости биологических систем, обусловленной наличием многоступенчатой пассивной и активной

защиты. К оценке основных параметров этих механизмов можно подойти, исследуя поведение организмов в условиях воздействия природных ЭМП или искусственно ослабляя, искажая или совсем прекращая эти воздействия. Тогда плодотворными будут и исследования в лабораторных условиях (с искусственно создаваемыми адекватными ЭМП), направленные на выявление принципов устройства и функционирования биологических систем, воспринимающих и преобразующих внешнюю электромагнитную информацию.

3. Изучение биологических систем, осуществляющих ориентацию и навигацию живых организмов во всех средах их обитания.

К этой задаче можно подойти не только из предположения о существовании специальных систем ориентации и навигации у отдельных особей, но и отправляясь от упомянутой выше идеи о коллективных системах такого рода, образующихся в сообществах организмов. Следует, наконец, учитывать и то, что ориентационными «датчиками» для животного могут служить не только магнитное и электрическое поля Земли, но и «радиомаяки» — излучения, испускаемые другими особями.

4. Значительный интерес представляет изучение электромагнитных взаимосвязей в сообществах животных, которые рассматривают как самоорганизующиеся системы. Как мы видели, в ряде случаев сообщество выступает как «посредник» между особью и внешней средой, осуществляя регуляцию общего поведения особей и численности популяций в соответствии с изменениями во внешней среде.

Решение этой проблемы зависит, однако, не столько от правильной постановки экспериментальных исследований, сколько от разработки аппарата общей математической логики, который позволил бы описывать многообразные взаимодействия в ансамбле, состоящем в свою очередь из сложных членов. Попытки создания такой логики предпринимаются некоторыми учеными (укажем, например, на упоминавшуюся статью Фёрстера).

Таковы в общих чертах задачи, которые могут быть включены в *содержание* бионики. Что касается *целей* бионики — создания приборов,— то, рассматривая результаты исследований биологической активности ЭМП, можно, конечно, найти данные, которые будут полезными при решении практических задач радиоэлектроники, при создании систем электромагнитного регулирования и т. п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель этой книги — постановка биологической проблемы о существенной роли в живой природе электромагнитных полей с частотами от инфранизких до сверхвысоких, т. е. о роли той обширной области электромагнитного спектра, которая ранее не рассматривалась в целом как биологически значимая. В основу постановки проблемы положена концепция об информационных функциях ЭМП в жизнедеятельности организмов: эти функции проявляются в трех формах — в передаче информации из внешней среды в организмы, в информационных взаимосвязях внутри организмов и в обмене информацией между организмами.

Мы попытались обосновать правомерность постановки проблемы и положенной в ее основу концепции, а также наметить пути для экспериментальной проверки последней, подходя к этому с различных позиций. Во-первых, исходя из обобщения и анализа накопленного к настоящему времени экспериментального материала о биологических эффектах ЭМП, во-вторых, рассматривая общие закономерности, проявляющиеся в этих эффектах, и, в-третьих, высказывая некоторые соображения общебиологического характера о возможной роли ЭМП в живой природе.

Попробуем теперь дать общую оценку того, в какой мере эти обоснования представляются убедительными: в отношении каких аспектов проблемы они в достаточной степени подкрепляются экспериментальными данными и в каких ее аспектах обоснования построены только на косвенных данных и в той или иной мере вероятных гипотезах.

Прежде всего, имеются, на наш взгляд, достаточные основания утверждать, что многообразные проявления биологического действия ЭМП отражают наличие у живых организмов специфических свойств, сформировавшихся в процессе эволюционного развития. Только исходя из такого предположения можно объяснить экспериментально обнаруживаемую высокую чувствительность к ЭМП у организмов всей эволюционной иерархии (от одноклеточных до человека), реакции на ЭМП самых различных биологических структур и систем (от молекулярного уровня до организменного), и, наконец, чувствительность живых существ к изменениям природных ЭМП во внешней среде.

Анализ зависимости биологических эффектов ЭМП от параметров и локализации воздействия показывает правомерность концепции об информационном (а не энергетическом) взаимодействии ЭМП с биологическими системами. Ведь и регулирующее влияние естественных ЭМП на живые организмы, и нарушение функций управления и взаимосвязей в организме под действием неадекватных ему искусственных ЭМП различных параметров наблюдалось при столь малых интенсивностях, когда сколько-нибудь заметные энергетические эффекты ЭМП в тканях были исключены. Далее, судя по имеющимся данным, характер реакций организмов на ЭМП зависит не от величины электромагнитной энергии, поглощаемой в тканях, а главным образом, от модуляционно-временны́х параметров ЭМП, от того, на какие именно системы организма осуществлялось воздействие при прочих равных условиях. Более того, величина той или иной реакции не только не пропорциональна интенсивности воздействующих ЭМП, но, наоборот, в ряде случаев уменьшалась по мере возрастания интенсивности. А некоторые реакции, наблюдавшиеся при действии слабых ЭМП, вообще не возникали при высоких интенсивностях.

Экспериментальные наблюдения, как нам кажется, с достаточной очевидностью указывают на способность живых организмов ориентироваться по магнитному и электрическому полю Земли. Установленным можно считать и нарушение физиологических функций (особенно при патологических состояниях организмов) под действием спорадически изменяющихся природных ЭМП. Весьма вероятным представляется и влияние периодически изменяющихся ЭМП внешней среды на ритмы физиологических процессов у самых различных организмов. Однако понадобится провести еще немало исследований, чтобы дифференцировать это влияние ЭМП от других периодически изменяющихся геофизических факторов.

Непосредственных доказательств существования взаимосвязей внутри организма, осуществляемых посредством ЭМП, во всей рассматриваемой области спектра пока нет. Однако и результаты электрофизиологических исследований в инфранизкочастотном и низкочастотном диапазонах, и данные о генерации и рецепции ЭМП различных частот в биологических системах — все это вселяет надежду на получение таких доказательств в недалеком будущем.

О возможности ЭМП-взаимосвязей между организмами можно пока говорить только на основании косвенных данных: установлено, что живые организмы создают в окружающем пространстве электромагнитные поля различных частот и проявляют высокую чувствительность к этим полям.

Исходя из концепции об информационных функциях ЭМП в живой природе, мы высказали немало гипотез по поводу меха-

низмов тех взаимодействий внутри организма и между организмами, физическая природа которых остается пока невыясненной. Намечены также некоторые направления экспериментальных исследований для проверки этих гипотез. Наконец, мы высказали свое мнение об общем подходе к изучению биологических эффектов ЭМП: нам кажется, что 1) изучение следует начинать с исследований на целостных организмах (а в некоторых случаях — на группах и сообществах организмов) и лишь затем постепенно спускаться по ступеням иерархии их систем и 2) моделирование этих эффектов (и участвующих в них биологических систем) следует проводить на основе рассмотрения эквивалентных «организованных» электромагнитных схем.

Безусловно, не все взгляды, высказанные в этой книге, достаточно глубоко обоснованы, а некоторые из них могут оказаться и ошибочными; но в этом отношении стоит вспомнить слова Чарлза Дарвина: «Неверные факты в высшей степени вредны для прогресса науки, так как они часто живут очень долго. Однако неверные взгляды, если они подкрепляются какими-нибудь данными, не приносят вреда, ибо каждый находит спасительное удовольствие в их опровержении, а когда их ошибочность доказана, то тем самым один из путей к ошибке закрывается и в то же время открывается дорога к истине».

В заключение можно сказать, что проблема информационной роли электромагнитных полей в живой природе во всяком случае заслуживает всестороннего обсуждения и постановки широких экспериментальных исследований. И если эта книга привлечет интерес читателей к этой проблеме, а может быть, и увеличит число ее исследователей, то это будет высшей наградой автору.

ЛИТЕРАТУРА

Аброськин В. В. 1966. О некоторых результатах воздействия магнитного поля Земли на растения. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 11.

Аверкиев М. С. 1960. Метеорология. М., Изд-во МГУ.

Аладжалова Н. А. 1962. Медленные электрические процессы в головном мозге. М., Изд-во АН СССР.

Александровская М. М., Холодов Ю. А. 1965. Реакция нейроглии головного мозга при воздействии постоянного магнитного поля. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей», Томск, стр. 342.

Александровская М. М., Холодов Ю. А. 1966. Следовые реакции нейроглии головного мозга кошки на воздействие постоянного магнитного поля. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 3.

Аминеев Г. А., Ситкин М. И. 1965. Влияние переменного магнитного поля низкой частоты на поведение мышей в Т-образном лабиринте. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 372.

Аминеев Г. А., Хасанова Р. И. 1966. О влиянии постоянного магнитного поля на мионевральный синапс. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 7.

Антонов И. В., Плеханов Г. Ф. 1960. О возможном механизме первичного действия магнитного поля на элементы живых систем. В кн. «Материалы теоретической и клинической медицины». Томск, вып. 2, 127.

Ахмеров У. Ш. и др. 1966. Влияние постоянного магнитного поля на фазы развития мушек дрозофил. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 10.

Ашофф Ю. 1964. Экзогенные и эндогенные компоненты циркадных ритмов. В кн. «Биологические часы». М., «Мир», стр. 27.

Белицкий Б. М., Кнорре К. Г. 1960. Защита от излучений при работе с генераторами СВЧ. В кн. «О биологическом воздействии сверхвысоких частот». М., стр. 107.

Белова С. Ф. 1960а. Состояние органа зрения у лиц, подвергающихся воздействию полей сверхвысоких частот. В кн. «Физические факторы внешней среды». М., стр. 184.

Белова С. Ф. 1960б. Изменение эластотонометрической кривой у кроликов при воздействии СВЧ. В кн. «О биологическом воздействии сверхвысоких частот». М., стр. 86.

Белова С. Ф., Гордон З. В. 1956. Действие сантиметровых волн на глаза.— Бюлл. экспер. биол. и мед., № 4, 43.

Беннет М. 1964. Механизм действия электрических органов. В кн. «Современные проблемы электробиологии». М., «Мир», стр. 117.

Биологические часы. 1964. М., Мир.

Биологическое действие ультразвука и сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний. 1964. Киев, Изд-во Наукова думка.

Биотелеметрия. 1965. М., Мир.

Блюменфельд Л. А. и др. 1962. Применение электронного парамагнитного резонанса в химии. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР.

Бодрова Н. В., Краюхин Б. В. 1965. Боковая линия рыб как аппарат восприятия электрического поля. В кн. «Бионика». М., Наука, стр. 264.

Брандт А. А. 1963. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. М., Гос. изд. физико-матем. лит.
Браун Ф. 1964. Геофизические факторы и проблемы биологических часов. В кн. «Биологические часы», М., Мир, стр. 103.
Брейди Дж. 1963. Палеокортекс и мотивация поведения. В кн. «Механизмы целого мозга». М., ИЛ, стр. 139.
Брейзье М. 1965. Электрическая активность нервной системы. М., ИЛ.
Брунс С. А. и др. 1966. Изменение экстинции света водой после воздействия на нее магнитным полем.— Коллоидный журн., 28, 153.
Будко Л. Н. 1964а. Изменение концентрации углеводов в крови при действии на организмы электромагнитных колебаний звукового и радиочастотного диапазонов. В кн. «Некоторые вопросы физиологии и биофизики». Воронеж, стр. 73.
Будко Л. Н. 1964б. Динамика обмена углеводов в изолированной печени белых крыс под влиянием энергии электромагнитного поля разной частоты. В кн. «Некоторые вопросы физиологии и биофизики». Воронеж, стр. 31.
Буллок Т. 1961. Возникновение нервных импульсов в рецепторных и центральных нейронах. В кн. «Современные проблемы биофизики», 2, М., ИЛ, стр. 248.
Бычков М. С. Морева З. Е. 1960. О влиянии радиоволн СВЧ-диапазона на нервно-мышечный препарат лягушки.— Тр. ЛОИП, 71, 178.
Бюннинг Э. 1961. Ритмы физиологических процессов. М., ИЛ.
Валитов Н. В., Сретенский Н. В. 1958. Радиоизмерения на сверхвысоких частотах. М., Воениздат.
Васильев Л. Л. 1962а. Внушение на расстоянии. М., Госполитиздат.
Васильев Л. Л. 1962б. Экспериментальные исследования мысленного внушения. Л., Изд-во ЛГУ.
Васильев Н. В. 1965. Влияние постоянного и переменного магнитного поля на иммунобиологическую реактивность организма. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 379.
Вейсс П. 1961а. Динамика клетки. В кн. «Современные проблемы биофизики», 1. М., ИЛ, стр. 21.
Вейсс П. 1961б. Взаимодействие между клетками. В кн. «Современные проблемы биофизики» 2. М., ИЛ, стр. 176.
Вернадский В. И. 1926. Биосфера, очерки первый и второй. Л., Научно-техн. изд-во.
Вилли К. 1959. Биология. М., ИЛ.
Винер Н. 1958. Кибернетика и общество. М., ИЛ.
Винер Н. 1963. Новые главы кибернетики. М., ИЛ.
Волькенштейн М. В. 1965. Молекулы и жизнь. М., Наука
Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей. 1965. Томск. Изд-во Томского университета.
Вулдридж Д. 1965. Механизмы мозга. М., Мир.
Гапеев П. И. 1957. Действие СВЧ-поля на орган зрения.—Тр. ВМОЛА, 73, 152.
Гвозликова З. М. и др. 1964. Действие непрерывных электромагнитных полей на центральную нервную систему. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 20.
Гельфон И. А. 1964. Влияние 10-см. волн малой интенсивности на содержание гистамина в крови животных. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 68.
Гельфон И. А., Садчикова М. Н. 1964. Белковые фракции и гистамин крови при воздействии радиоволн различных диапазонов. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М. стр. 133.
Гиневинский А. Г., Лебединский А. В. 1956. Курс нормальной физиологии. М., Медгиз.
Гинзбург Д. А., Садчикова М. Н. 1964. Изменения электроэнцефало-

граммы при хроническом воздействии радиоволн. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 126.
Глебов Н. А. и др. 1965. Влияние воды, обработанной магнитным полем («ЭЛАНГ»), на лабораторных животных. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 390.
Глезер В. Д., Цукерман И. И. 1961. Теория информации и зрение. М., Изд-во АН СССР.
Гольдсмит Т. 1966. Биомедицинская техника.— Зарубежная радиоэлектроника, № 8, 38.
Горди В. и др. 1955. Радиоспектроскопия. М., Гос. технико-теор. изд-во.
Гордон З. В. 1964а. Итоги комплексного изучения биологического действия электромагнитных волн радиочастот и перспективы дальнейших исследований. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 3.
Гордон З. В. 1964б. Влияние микроволн на уровень кровяного давления в эксперименте на животных. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М. стр. 57.
Гордон З. В. 1966. Вопросы гигиены труда и биологического действия электромагнитных полей сверхвысоких частот. М., Медицина.
Гордон З. В., Елисеев В. В. 1964. Средства защиты от СВЧ-облучения и их эффективность. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей и радиочастот». М., стр. 151.
Гордон З. В., Лобанова Е. А. 1960. Температурная реакция животных при воздействии СВЧ. В кн. «О биологическом воздействии полей сверхвысоких частот». М., стр. 59.
Гордон З. В., Пресман А. С. 1956. Профилактические и защитные мероприятия при работе с генераторами сантиметровых волн. М., Изд-во БТИ МРТП.
Гордон З. В. и др. 1963. Материалы о биологическом действии микроволн различных диапазонов.— Биол. и медиц. электроника, вып. 6, 72.
Городецкая С. Ф. 1960. К вопросу о влиянии радиоволн сантиметрового диапазона на высшую нервную деятельность, органы кроветворения и размножения.— Физиол. журн. АН УССР, 6, 622.
Городецкая С. Ф. 1961. Влияние радиоволн 8-сантиметрового диапазона на функциональное состояние коры надпочечников.— Физиол. журн. АН УССР, 7, 672.
Городецкая С. Ф. 1963. Влияние сантиметровых волн на плодовитость самок мышей.—Физиол. журн. АН УССР, 9, 394.
Городецкая С. Ф. 1964а. Влияние СВЧ-электромагнитного поля на размножение, состав периферической крови, условно-рефлекторную деятельность и морфологию внутренних органов белых мышей. В кн. «Биологическое действие ультразвука и сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний». Киев, Наукова думка, стр. 80.
Городецкая С. Ф. 1964б. Влияние СВЧ-поля и конвекционного тепла на эстральный цикл у мышей.— Физиол. журн. АН УССР, 10, 494.
Груздев А. Д. 1965. Об ориентации микроскопических частиц в электрических полях.— Биофизика, 10, 1091.
Гуляев П. И. 1967. Электроаурограмма. Электрическое поле организмов как новая биологическая связь Мат. к симп. «Физика и биология». М., стр. 19.
Гуляев П. И., Заботин В. П., Шлиппенбах Н. Я. 1967. Электрическое поле в воздухе вокруг возбудимых тканей. Электроаурограмма. Докл. на Ленингр. об-ве естествоисп. 13 февр.
Данилевский В. Я. 1901. Исследования над физиологическим действием электричества на расстоянии. Харьков.
Дардымов И. В. и др. 1965. Влияние воды, обработанной магнитным полем, на рост растений. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 325.
Дардымов И. В. и др. 1966. Влияние воды, обработанной магнитным по-

лем, на биологические объекты. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 25.

Дементьев Г. П. 1965. Вопросы бионики в орнитологических исследованиях. В кн. «Миграция птиц и млекопитающих». М., Наука, стр. 11.

Джерард Р. Общие итоги. В кн. «Концепция информации и биологические системы». М., Мир, стр. 327.

Долина Л. А. 1961. Морфологические изменения центральной нервной системы при действии на организм сантиметровых волн.— Архив патологии, 1, 51.

Дорфман Я. Г. 1962. О специфике воздействия магнитных полей на диамагнитные макромолекулы в растворе.— Биофизика, 7, 733.

Дорфман Я. Г. 1966. О физическом механизме воздействия статических магнитных полей на живые системы. М., Изд-во ВИНИТИ.

Дрогичина Э. А. и др. 1962. Некоторые клинические проявления хронического воздействия сантиметровых волн.— Гигиена труда и профзабол., № 1, 28.

Дришель Г. 1960. Регулирование уровня сахара в крови. В кн. «Процессы регулирования в биологии». М., ИЛ. стр. 63.

Елисеев В. В. 1964. Методика облучения животных при экспериментальных исследованиях воздействия электромагнитных волн радиочастот. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 94.

Заботин А. И. 1965. Влияние магнитного и электрического полей на интенсивность и химизм фотосинтеза. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 323.

Заботин А. И., Неустроева С. И. 1966. Последействие магнитного поля на фотосинтез. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 31.

Зальцберг Б. 1966. Что такое теория информации? В кн. «Концепция информации и биологические системы». М., Мир, стр. 13.

Зенина И. Н. 1964. Действие импульсных электромагнитных полей СВЧ на центральную нервную систему при однократном и длительном облучении. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М. стр. 26.

Зубкова С. М. 1967а. Реакция возбудимой системы парамеций на микроволновое облучение. Автореферат канд. дисс. М.

Зубкова С. М. 1967б. Действие электромагнитных полей на регуляцию двигательных функций парамеций.— Тр. МОИП (в печати).

Зырянов П. С. 1961. О природе сил взаимодействия между хромосомами.— Биофизика, 6, 495.

Имянитов И. М., Чубарина Е. В. 1961. О структуре и происхождении электрического поля атмосферы. В кн. «Исследования облаков, осадков и грозового электричества». М., Изд-во АН СССР, стр. 239.

Инграм Д. 1959. Спектроскопия на высоких и сверхвысоких частотах. М., ИЛ.

Калашников С. Г. 1956. Электричество. М., Гос. изд-во технико-теор. лит.

Каменский Ю. И. 1964. Действие микроволн на функциональное состояние нерва.— Биофизика, 9, 695.

Каменский Ю. И. 1967. Влияние микроволн на кинетику параметров нервного импульса.— Тр. МОИП (в печати).

Кармилов В. И. 1948. К истории вопроса о биологическом и лечебном действии магнитного поля. В кн. «Биологическое и лечебное действие магнитного поля и строгопериодической вибрации». Пермь, стр. 5.

Керова Н. И. 1964. Влияние СВЧ-электромагнитного поля на активность полинуклеаз и содержание нуклеиновых кислот. В кн. «Биологическое действие ультразвука и сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний». Киев, Наукова думка, стр. 106.

Кирчев К. и др. 1962. Биохимические изменения в мышцах и крови белых

крыс под влиянием микроволн.— Тр. 5 Междунар. биохимического конгресса, секц. 14—28, стр. 427.
Кирюшкин С. С. и др. 1966. Взаимоотношение между развивающимися яйцами в кладке и их изменение под действием слабого магнитного поля. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 36.
Кицовская И. А. 1960. Исследование взаимоотношений между основными нервными процессами у крыс при воздействии СВЧ разной интенсивности. В кн. «О биологическом воздействии сверхвысоких частот». М., стр. 75.
Кицовская И. А. 1964а. Сравнительная оценка воздействия микроволн разных диапазонов на нервную систему крыс, чувствительных к звуковому раздражению. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 39.
Кицовская И. А. 1964б. Влияние сантиметровых волн разных интенсивностей на кровь и кроветворные органы белых крыс.— Гигиена труда и профзабол., № 6, 14.
Климкова-Дейчева Е., Рот Б. 1963. Влияние излучения на электроэнцефалограмму человека.— Чехослов. мед обозр., 9, 254.
Клотц И. 1964. Вода. В кн. «Горизонты биохимии». М., Мир, стр. 397.
Кнорре А. Г., Лев И. Д. 1963. Вегетативная нервная система. М., Медгиз.
Кнорре К. Г. 1960. Параметры полей СВЧ, определяющие оценку условий труда, и задачи их измерения. В кн. «О биологическом воздействии сверхвысоких частот». М., стр. 11.
Коган А. Б., Тихонова Н. А. 1965. Действие постоянного магнитного поля на движение парамеций.— Биофизика, 10, 292.
Коган А. Б. и др. 1965. О биологическом действии постоянного магнитного поля. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 317.
Коган А. Б. и др. 1966. О возможном механизме действия постоянного магнитного поля на живую клетку. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 37.
Коган И. М. 1966. Возможна ли телепатия? — Радиотехника, 21, 8.
Колебательные процессы в биологических и химических системах. 1967. М., Наука.
Коль К. 1960. Ионная электропроводность нервов. В кн. «Процессы регулирования в биологии». М., ИЛ, стр. 246.
Коммонер Б. 1964. Является ли ДНК самовоспроизводящейся молекулой? В кн. «Горизонты биохимии». М., Мир, стр. 244.
Коряк А. Д. 1966. Влияние геомагнитного поля на вегетацию кукурузы. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 43.
Кончаловская Н. М. и др. 1964. Состояние сердечно-сосудистой системы при воздействии радиоволн различных диапазонов. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 114.
Краюхин Б. В. 1948. Возможна ли электроиндукция в тканях организма? В сборнике, посвященном памяти А. В. Леонтовича. Киев, Изд-во АН УССР.
Крылов А. В., Тараканова Г. А. 1960. Явление магнитотропизма у растений и его природа.— Физиол. растений, 7, 191.
Крылов А. В., Тараканова Г. А. 1961. Магнитотропизм.— Наука и жизнь, № 7, 85.
Кулакова В. В. 1964. Влияние микроволн сантиметрового и дециметрового диапазонов на общие и специализированные формы аппетита у животных. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 70.
Кулин Е. Т. 1965. Концентрационная и радиочастотная зависимость авторегуляции функций одноклеточных организмов (парамеций). Физико-

химические основы авторегуляции в клетках. Тезисы докладов. М., стр. 26.

Кулин Е. Т., Морозов Е. И. 1964. Влияние дециметрового радиоизлучения на фагоцитарные функции одноклеточных.— ДАН БССР, 8, 329.

Кулин Е. Т., Морозов Е. И. 1965. Некоторые закономерности влияния электромагнитных полей СВЧ-диапазона на фагоцитарную функцию парамеций.— Вести. АН БССР, сер. Биологич. наук., 4, 91.

Курс электрических измерений. 1960. М.— Л.

Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. 1957. Электродинамика сплошных сред. М., Гос. изд-во технико-теор. лит.

Ланцман М. Н. 1965. Влияние переменного магнитного поля на фагоцитарную функцию РЭС в эксперименте. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 360.

Лебедева С. А. 1963. Измерение электрического поля промышленной частоты большой напряженности и токов, протекающих через человека в землю. Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных полей радиочастот. Тезисы докладов. М., стр. 51.

Левитина Н. А. 1961. Вариабельность возбудимости нервно-мышечного аппарата кроликов в норме.— Физиол. журн. СССР, 47, 520.

Левитина Н. А. 1964. Действие микроволн на ритм сердца кролика при облучении локальных участков тела.— Бюлл. экспер. биол. и мед., № 7, 67.

Левитина Н. А. 1966а. Исследование нетеплового действия микроволн на ритм сердечных сокращений у лягушки.— Бюлл. экспер. биол. и мед., № 12, 64.

Левитина Н. А. 1966б. Исследование нетеплового действия микроволн на ритм сердечной деятельности. Автореферат канд. дисс. М.

Лейтес Ф. Л., Скурихина Л. А. 1961. Влияние микроволн на гормональную активность коры надпочечников.— Бюлл. экспер. биол. и мед., № 12, 47.

Либезин П. 1936. Короткие и ультракороткие волны в биологии и терапии. М.— Л., Биомедгиз.

Ливенсон А. Р. 1962. Методы дозиметрии при микроволновой терапии. II Всесоюзная конференция по применению радиоэлектроники в биологии и медицине. Тезисы докладов. М., стр. 25.

Ливенсон А. Р. 1963. Методы дозиметрии при терапии полем сантиметровых и дециметровых волн.— Тр. ВНИИМИиО, 3, 12.

Ливенсон А. Р. 1964а. Электрические параметры биологических тканей в диапазоне микроволн.— Медицинская промышленность, № 7, 10.

Ливенсон А. Р. 1964б. Вопросы профессиональной гигиены при обслуживании аппаратов для микроволновой терапии.— Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры, № 5, 450.

Ливщиц Н. Н. 1957а. Роль нервной системы в реакциях организма на действие электромагнитных полей УВЧ.— Биофизика, 2, 378.

Ливщиц Н. Н. 1957б. Условнорефлекторная деятельность собак при локальных воздействиях полем УВЧ на некоторые зоны коры больших полушарий.— Биофизика, 2, 197.

Ливщиц Н. Н. 1957а. Условнорефлекторная деятельность собак при воздействии полем УВЧ на область мозжечка.— ДАН СССР, 112, 145.

Ливщиц Н. Н. 1958. Роль нервной системы в реакциях организма на действие электромагнитного поля УВЧ.— Биофизика, 3, 409.

Лобанова Е. А. 1959. Изменения условнорефлекторной деятельности у животных (крыс и кроликов) при хроническом воздействии сантиметровых волн. Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. Тезисы докладов. М., стр. 46.

Лобанова Е. А. 1960. Выживаемость и развитие животных при разной интенсивности и длительности воздействия СВЧ. В кн. «О биологическом воздействии сверхвысоких частот». М., стр. 61.

Лобанова Е. А. 1964а. Исследование температурной реакции животных на воздействие микроволн различных диапазонов. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 75.
Лобанова Е. А. 1964б. Изменения условнорефлекторной деятельности животных при воздействии микроволн различных частотных диапазонов В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 13.
Лобанова Е. А., Гордон З. В. 1960. Исследование обонятельной чувствительности у лиц, подвергавшихся воздействию СВЧ. В кн. «О биологическом воздействии сверхвысоких частот». М., стр. 52.
Лобанова Е. А., Толгская М. С. 1960. Изменение высшей нервной деятельности и межнейронных связей в коре головного мозга животных при воздействии СВЧ. В кн. «О биологическом воздействии сверхвысоких частот». М., стр. 69.
Лукьянова С. Н. 1965. Изменения электрической активности различных образований головного мозга кролика при действии постоянного магнитного поля. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей» Томск, стр. 368.
Лукьянова С. Н. 1966. О влиянии постоянного магнитного поля на биоэлектрическую активность изолированной нервной цепочки речного рака. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 45.
Лучевые катаракты. 1959. М., Медгиз.
Лысцов В. Н. и др. 1965. Действие сантиметровых радиоволн на вегетативные клетки, споры и трансформирующую ДНК.— Биофизика, 10, 105.
Мак-Ильвейн Г. 1962. Биохимия и центральная нервная система. М., ИЛ.
Мак-Каллок У. 1965. Подражание одних форм жизни другим формам — биомимезис. В кн. «Проблемы бионики», М., Мир, стр. 550.
Малахов А. Н. и др. 1965а. Биологическая индикация электромагнитного поля СВЧ. В кн. «Бионика». М., Наука. стр. 302.
Малахов А. Н. и др. 1965б. Об электромагнитной гипотезе биологической связи. В кн. «Бионика». М., Наука, стр. 297.
Малахов А. Н. и др. 1963. Электромагнитное поле СВЧ как сигнальный фактор в оборонительном условном рефлексе белых мышей. В кн. «Материалы к 3 поволжской конференции физиологов, биохимиков и фармакологов». Горький, стр. 310.
Мантейфель Б. П. и др. 1965. Ориентация и навигация в мире животных. В кн. «Бионика». М., Наука, стр. 243.
Манчарский С. 1964. Новые возможности воздействия на органы чувств человека.— Зарубежная радиоэлектроника, № 7, 52.
Мариковский П. 1965. Муравьиный язык.— Наука и жизнь, № 6, 55.
Мекшенков М. И. 1965а. Изучение структуры и конформации рибонуклеиновых кислот методом двулучепреломления в магнитном поле.— Биофизика, 10, 747.
Мекшенков М. И. 1965б. Магнитное двойное лучепреломление в растворе ДНК. В кн. «Молекулярная биофизика», М., Наука, стр. 155.
Миненко В. И. и др. 1962 г. Магнитная обработка воды. Харьковское книжное изд-во.
Мирутенко В. И. 1964. Тепловой эффект действия СВЧ электромагнитного поля на животных и некоторые вопросы дозиметрии СВЧ-поля. В кн. «Биологическое действие ультразвука и сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний». Киев, Наукова думка, стр. 62.
Могендович М. Р. 1965. Магнитное поле и физиологические функции. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 314.
Могендович М. Р., Скачедуб Р. Г. 1957. О действии физических факторов на зрительный аппарат человека.— Тр. Пермского мед. инст., вып. 26, 11.

Могендович М. Р., Тишанкин В. Ф. 1948а. О механизме влияния магнитного поля на РОЭ. В кн. «Биологическое и лечебное действие магнитного поля и строгопериодической вибрации». Пермь, стр. 79.

Могендович М. Р., Тишанкин В. Ф. 1948б. О механизме влияния магнитного поля на реакцию оседания эритроцитов.— Бюлл. экспер. биол. и мед., № 6, 417.

Могендович М. Р., Шерстнева О. С. 1947. Гравитационные эффекты крови в магнитном поле.— Бюлл. экспер. биол. и мед., № 12, 459.

Могендович М. Р., Шерстнева О. С. 1948а. Реакция оседания эритроцитов в магнитном поле. В кн. «Биологическое и лечебное действие магнитного поля и строгопериодической вибрации». Пермь, стр. 61.

Могендович М. Р., Шерстнева О. С. 1948б. Гравитационный эффект крови в магнитном поле. В кн. «Биологическое и лечебное действие магнитного поля и строгопериодической вибрации». Пермь, стр. 73.

Москаленко Ю. Е. 1958. Применение СВЧ для биологических исследований.— Биофизика, 3, 619.

Москаленко Ю. Е. 1960. Клиническое и биологическое применение электромагнитных полей СВЧ. В кн. «Электроника в медицине». М., Госэнергоиздат, стр. 207.

Москалюк А. И. 1957. Влияние СВЧ-поля на окислительно-восстановительные процессы в некоторых тканях кроликов.— Тр. ВМОЛА, 73, 133.

Мэгун Г. 1961. Бодрствующий мозг. М., ИЛ.

Наумов Н. П., Ильичев В. Д. 1965. Несколько замечаний к проблеме ориентации. В кн. «Бионика». М., Наука, стр. 378.

Нейман М. С. 1964. Некоторые принципиальные вопросы микроминиатюризации. Сообщение I.— Радиотехника, № 1, 3.

Нейман М. С. 1965а. Некоторые принципиальные вопросы микроминиатюризации. Сообщение II.— Радиотехника, № 1, 3.

Нейман М. С. 1965б. Некоторые принципиальные вопросы микроминиатюризации. Сообщение III.— Радиотехника, № 6, 1.

Неприморов Н. Н. и др. 1966. К вопросу о механизме биологического действия магнитных полей. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 48.

Некоторые вопросы физиологии и биофизики. Воронеж, Изд-во Воронежского университета.

Никогосян С. В. 1960. Влияние СВЧ на активность холинэстеразы в сыворотке крови и органах у животных. В кн. «О биологическом воздействии сверхвысоких частот». М., стр. 81.

Никогосян С. В. 1964а. Влияние 10 см. волн на содержание белковых фракций в сыворотке крови животных.— Гигиена труда и профзабол., № 9, 56.

Никогосян С. В. 1964б. Исследование активности холинэстеразы в сыворотке крови у животных при хроническом воздействии микроволн. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 43.

Никогосян С. В. 1964в. Влияние 10 см. волн на содержание нуклеиновых кислот в органах животных. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 66.

Никонова К. В. 1963. Материалы к гигиенической оценке электромагнитных полей высокой частоты (диапазон средних и длинных волн). Автореферат канд. дисс. М.

Никонова К. В. 1964а. Влияние электромагнитного поля высокой частоты на кровяное давление и температуру тела экспериментальных животных. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 61.

Никонова К. В. 1964б. Влияние электромагнитных полей высокой частоты на функции нервной системы. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 49.

Новицкий Ю. И. 1966а. Действие постоянного магнитного поля на гели ве-

ществ растительного происхождения. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 50.

Новицкий Ю. И. 1966б. Действие магнитного поля на сухие семена некоторых злаковых. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 52.

Новицкий Ю. И. и др. 1965. Дальнейшее изучение действия постоянного магнитного поля на растения. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологического действия магнитных полей». Томск, стр. 329.

Новицкий Ю. И. и др. 1966. Действие слабого постоянного магнитного поля на движение хлоропластов у элодеи. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 53.

О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот. 1964. М.

Обросов А. Н. 1963. Импульсное поле УВЧ — новый лечебный фактор. В кн. «Труды I республиканской конференции физиотерапевтов и курортологов Украинской ССР». Киев, стр. 238.

Обросов А. Н. и др. 1963. Влияние микроволн на сердечно-сосудистую систему практически здорового человека.— Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры, № 3, 223.

Одинцов Ю. Н. 1965. Влияние переменного магнитного поля на некоторые иммунологические показатели при экспериментальном листериозе. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск стр. 382.

Орлова А. А. 1960а. Состояние сердечно-сосудистой системы при действии полей СВЧ и ВЧ. В кн. «Физические факторы внешней среды». М., стр. 171.

Орлова А. А. 1960б. К клинике изменений внутренних органов при воздействии СВЧ. В кн. «О биологическом воздействии сверхвысоких частот». М., стр. 36.

Осипов Ю. А. 1965. Гигиена труда и влияние на работающих электромагнитных полей радиочастот. М., Медгиз.

Первушин В. Ю., Триумфов А. В. 1957. О морфологических изменениях некоторых органов кроликов, подвергнутых воздействию СВЧ-поля.— Тр. ВМОЛА, 73, 141.

Петров Ф. П. 1935. Действие электромагнитного поля на изолированные органы. В кн. «Физико-химические основы высшей нервной деятельности». Л., стр. 97.

Петров Ф. П. 1952. Действие электромагнитного поля низкой частоты на высшую нервную деятельность.— Тр. Инст. физиологии АН СССР, I, 369.

Петровский А. А. 1926. Телепсихические явления и мозговые радиации.— Телефония и телеграфия без проводов, № 34, 61.

Пиккарди Дж. 1965. Вселенная повсюду.— Наука и жизнь, № 8, 65.

Плаксин И. Н. и др. 1966. Влияние частоты электрического поля на оптические свойства воды.— ДАН СССР, 168, 1.

Плеханов Г. Ф. 1965. Некоторые материалы по восприятию информации живыми системами. В кн. «Бионика». М., Наука, стр. 237.

Плеханов Г. Ф., Ведюшкина В. В. 1966. Выработка сосудистого условного рефлекса у человека на изменение напряженности электромагнитного поля высокой частоты.— Журн. высш. нервн. деятельн., 16, 34.

Повжитков В. А. и др. 1961. Влияние СВЧ импульсного электромагнитного поля на зачатие и течение беременности у белых мышей.— Бюлл. экспер. биол. и мед., № 5, 103.

Поддубный А. Г. 1965. Некоторые результаты дистанционных наблюдений за поведением мигрирующих рыб. В кн. «Бионика». М., Наука, стр. 255.

Позолотин А. А. 1965. О механизме различного действия магнитного поля на облученные семена и проростки гороха. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 332.

Позолотин А. А., Гатиятуллина Э. З. 1966. О комбинированном воздействии гамма-облучения и магнитного поля на семена гороха. Совеща-

ние по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 58.
Полуханов М. П. 1965. Распространение радиоволн. М., Связь.
Пресман А. С. 1954а. Сантиметровые волны. М., Госэнергоиздат.
Пресман А. С. 1954б. Прибор для измерения интенсивности облучения 10-сантиметровыми волнами в производственных условиях. Аннотации научных работ АМН СССР М., стр. 479.
Пресман А. С. 1956а. О физических основах биологического действия сантиметровых волн.— Успехи совр. биолог., 41, 40.
Пресман А. С. 1956б. Электромагнитное поле как гигиенический фактор.— Гигиена и санитария, № 9, 32.
Пресман А. С. 1957а. О гигиенической оценке электромагнитных полей высоких частот. Юбилейная научная сессия Института гигиены труда и профзабол. АМН СССР. Тезисы докладов. М., стр. 72.
Пресман А. С. 1957б. Методы оценки действующей энергии электромагнитных полей в производственных условиях.— Гигиена и санитария, № 1, 29.
Пресман А. С. 1957в. Изменение температуры тела кожи человека при облучении сантиметровыми волнами малой интенсивности.— Бюлл. экспер. биол. и мед. № 2, 51.
Пресман А. С. 1958а. Методы экспериментального облучения животных сантиметровыми волнами.— Биофизика, 3, 354.
Пресман А. С. 1958б. Методы защиты от действия электромагнитных полей радиочастот в производственных условиях.— Гигиена и санитария, № 1, 21.
Пресман А. С. 1960а. О гигиенической оценке электромагнитных полей высоких частот. В кн. «Физические факторы внешней среды». М., стр. 142.
Пресман А. С. 1960б. Экспериментальная установка для дозируемого облучения кроликов микроволнами 10-сантиметрового диапазона.— Новости медиц. техники, № 4, 51.
Пресман А. 1960в. Применение микроволн в физиотерапии и биологических исследованиях. В кн. «Электроника в медицине». М., Госэнергоиздат, стр. 219.
Пресман А. С. 1961. Экспериментальная установка для облучения белковых растворов микроволнами.— Биофизика, 6, 370.
Пресман А. С. 1962а. Методы дозируемого облучения микроволнами в биологических экспериментах. II Всесоюзная конференция по применению радиоэлектроники в биологии и медицине. Тезисы докладов. М., стр. 23.
Пресман А. С. 1962б. Вопросы механизма нетеплового действия микроволн. II Всесоюзная конференция по применению радиоэлектроники в биологии и медицине. Тезисы докладов. М., стр. 21.
Пресман А. С. 1963а. Метод оценки порогов возбудимости нервно-мышечного аппарата у животных.— Биол. и мед. электроника, вып. 5, 56.
Пресман А. С. 1963б. Возбудимость у парамеций при раздражении импульсами постоянного и переменного тока.— Биофизика, 8, 138.
Пресман А. С. 1963в. Действие микроволн на парамеций.— Биофизика, 8, 258.
Пресман А. С. 1963г. Метод сравнительного облучения белковых растворов микроволнами и инфракрасными лучами.— Биолог. и мед. электроника, вып. 6, 76.
Пресман А. С. 1963д. Вопросы механизма биологического действия микроволн.— Успехи совр. биол., 56, 161.
Пресман А. С. 1964а. Исследования биологического действия микроволн. Часть I.— Зарубежная радиоэлектроника, № 3, 63.
Пресман А. С. 1964б. Исследования биологического действия микроволн. Часть II.— Зарубежная радиоэлектроника, № 4, 67.
Пресман А. С. 1964в. О роли электромагнитных полей в процессах жизнедеятельности.— Биофизика, 9, 131.
Пресман А. С. 1965а. Действие микроволн на живые организмы и биологические структуры.— УФН, 86, 263.

Пресман А. С. 1965б. Электромагнитное поле и жизнь.— Наука и жизнь, № 5, 82.
Пресман А. С. 1966а. Электромагнитные поля в нейрокибернетике. Симпозиум «Проблемы нейрокибернетики». Тезисы докладов. М., стр. 41.
Пресман А. С. 1966б. Некоторые общеметодические вопросы биоэлектромагнитных исследований. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 59.
Пресман А. С. 1967а. Электромагнитные поля и процессы регулирования в биологии. В кн. «Вопросы бионики». М., Наука, стр. 341.
Пресман А. С. 1967б. Значение электромагнитных полей в эволюции и жизнедеятельности организмов.— Бюлл. МОИП. 52, 149.
Пресман А. С. 1967в. Взаимодействие физики и биологии в изучении биологического действия электромагнитных полей. Мат. к симп. «Физика и биология». М., стр. 13.
Пресман А. С., Каменский Ю. И. 1961. Экспериментальные установки для исследования возбудимости нервно-мышечного препарата в процессе облучения микроволнами.— Биофизика, 6, 231.
Пресман А. С. и др. 1961. Биологическое действие микроволн. Успехи совр. биол., 51, 84.
Пресман А. С., Левитина Н. А. 1962а. Нетепловое действие микроволн на ритм сердечных сокращений у животных. I. Исследование действия непрерывных микроволн.— Бюлл. экспер. биол. и мед., № 1, 41.
Пресман А. С., Левитина Н. А. 1962б. Нетепловое действие микроволн на ритм сердечных сокращений у животных. II. Исследование действия импульсных микроволн.— Бюлл. экспер. биол. и мед. № 2, 39.
Пресман А. С., Левитина Н. А. 1962в. Влияние нетеплового микроволнового облучения на резистентность животных к гамма-облучению.— Радиобиология, 2, 170.
Пресман А. С., Раппепорт С. М. 1964а. Новые данные о существовании у парамеций возбудимой системы. I. Реакции парамеций на импульсы постоянного тока.— Научн. докл. высш школы. Сер. Биологические науки, № 1, 48.
Пресман А. С., Раппепорт С. М. 1964б. Новые данные о существовании у парамеций возбудимой системы. II. Реакции парамеций на импульсы переменного тока.— Науч. докл. высш. школы. Сер. Биологические науки, № 3, 44.
Пресман А. С., Раппепорт С. М. 1965. Действие микроволн на возбудимую систему парамеций.— Бюлл. экспер. биол. и мед., № 4, 48.
Пудовкин А. И. 1964. Действие низкочастотного электромагнитного поля на нервно-мышечный препарат лягушки. В кн. «Нервная система». Л., стр. 47.
Рамо С., Уиннери Дж. 1948. Поля и волны в современной радиотехнике. М., Гос. изд-во технико-теор. лит.
Райт Р. 1964. Язык «приказов», которым повинуются насекомые, имеет физико-химическую природу.— Наука и жизнь, № 5, 148.
Робертс Дж. 1961. Ядерный магнитный резонанс. М., ИЛ.
Родичева Э. К. и др. 1965. О влиянии постоянного электрического и переменных электромагнитных полей на биосинтез хлореллы при непрерывном культивировании. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 319
Рыжов А. И., Гарганеев Г. П. 1965. Патоморфологические изменения желудочно-кишечного тракта животных при воздействии постоянным магнитным полем. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 349.
Савостин П. В. 1928. Исследование поведения ротирующей растительной плазмы в постоянном магнитном поле.— Изв. Томск. гос. унив., 79, 207.
Савостин П. В. 1937. Магнитно-физиологические эффекты у растений.— Тр. Моск. Дома ученых., вып. I, 111.

Садчикова М. Н. 1964. Клиника изменений нервной системы, вызванных воздействием радиоволнами различных диапазонов. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 110.
Сазонова Т. Е. 1960. О раздражающем действии электромагнитного поля низкой частоты (50 *гц*) на нервно-мышечный препарат.— Тр. ЛОИП, **71**, вып. 1, 84.
Сазонова Т. Е. 1964. Функциональные изменения в организме при работе в электрическом поле промышленной частоты высокой напряженности. Автореферат канд. дисс. Л.
Салей А. И. 1964. Влияние энергии электромагнитного поля различной частоты на секрецию слюнных желез. В кн. «Некоторые вопросы физиологии и биофизики». Воронеж, стр. 50.
Самойлов О. Я. 1957. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М., Изд-во АН СССР.
Свободные радикалы в биологии. 1963. М., ИЛ.
Сент-Дьёрдьи А. 1960. Биоэнергетика. М., Физматгиз.
Сент-Дьёрдьи А. 1964. Введение в субмолекулярную биологию. М., Наука.
Сетлоу Р., Поллард Э. 1964. Молекулярная биофизика. М., Мир.
Симонов П. В. 1966. Что такое эмоция? М., Наука.
Скурихина Л. А. 1961. Лечебное применение микроволн (электромагнитного поля СВЧ).— Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры, № 4, 338.
Скурихина Л. А. 1962. Клинико-физиологические обоснования микроволновой терапии. Новости медиц. техники, № 3, 9.
Смирнова М. И., Садчикова М. Н. 1960. Определение функциональной активности щитовидной железы с помощью радиоактивного иода у работающих с генераторами СВЧ. В кн. «О биологическом воздействии частот». М., стр. 50.
Соколов В. В., Чулина Н. А. 1964. Состояние периферической крови при воздействии на организм радиоволн различных диапазонов. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 122.
Соловьев Н. А. 1962. Дифференциация воздействия переменного магнитного поля от воздействия индуцированных им ЭДС и токов в живых организмах. II Всесоюзная конференция по применению радиоэлектроники в биологии и медицине. Тезисы докладов. М., стр. 29.
Соловьев Н. А. 1963а. К вопросу о механизме биологического действия импульсного магнитного поля.— ДАН СССР, **149**, 438.
Соловьев Н. А. 1963б. Ответы целостного живого организма на воздействие электромагнитного поля.— Тр. ВНИИМИиО, **3**, 120.
Соловьев Н. А. 1963в. Воздействие высоковольтного электрического поля 50—2000 *гц* на белых мышей и дрозофилу. Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных полей радиочастот. Тезисы докладов. М., стр. 91.
Справочник по геофизике. 1965. М., Наука.
Стрэттон Дж. 1948. Теория электромагнетизма. М.— Л., Гос. изд-во технико-теор. лит.
Субота А. Г. 1957а. О некоторых тканевых реакциях при локальном воздействии СВЧ-поля.— Тр. ВМОЛА, **73**, 165.
Субота А. Г. 1957б. О влиянии СВЧ-электромагнитного поля на высшую нервную деятельность собак.— Тр. ВМОЛА, **73**, 35.
Субота А. Г. 1958. О влиянии импульсного СВЧ-электромагнитного поля на высшую нервную деятельность собак.— Бюлл. экспер. биол. и мед., № 10, 55.
Счастная П. И. 1955. О влиянии полей СВЧ на микроорганизмы. В кн. «Сборник научных работ Харьковского мединститута», Харьков, стр. 170.
Счастная П. И. 1957. Действие электромагнитных волн сверхвысокой частоты на микроорганизмы.— Тр. Харьковского мед. института, **15**, 239.

Счастная П. И. 1958. Влияние радиоволн СВЧ на кишечную палочку.— Тр. Харьковского мед. института, 16, 359.
Тамм И. Е. 1957. Основы теории электричества. М., Гос. изд-во технико-теор. лит.
Тарчевский И. А. 1964. Изменение фотосинтетического метаболизма углерода как неспецифическая реакция на воздействие электрических факторов. Итоговая научная конференция Казанского гос. университета. Тезисы докладов. Казань, стр. 30.
Татаринов В. В., Френкель Г. Л. 1939. Введение в изучение УВЧ. Л., Медгиз.
Тверской П. Н. 1962. Курс метеорологии. М., Гидрометиздат.
Толгская М. С. и др. 1959. Морфологические изменения у животных при экспериментальном действии 10-см волн.— Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры, № 1, 21.
Толгская М. С. и др. 1960. Морфологические изменения у экспериментальных животных при воздействии импульсных и непрерывных СВЧ. В кн. «О биологическом воздействии сверхвысоких частот». М., стр. 90.
Толгская М. С., Гордон З. В. 1960. Изменение рецепторного и интерорецепторного аппарата при воздействии СВЧ. В кн. «О биологическом воздействии сверхвысоких частот». М., стр. 99.
Толгская М. С., Гордон З. В. 1964. Сравнительная морфологическая характеристика действия микроволн различных диапазонов. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 80.
Толгская М. С., Никонова К. В. 1964. Гистологические изменения в органах белых крыс при хроническом воздействии электромагнитных полей высокой частоты. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 89.
Торонцев И. В., Гарганеев Г. П. 1965. Морфологическая характеристика изменений у экспериментальных животных, возникающих в результате непрерывного длительного действия постоянного магнитного поля. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 345.
Торонцев И. В. и др. 1966а. Патоморфологические изменения у экспериментальных животных под влиянием постоянных и переменных магнитных полей. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 72.
Торонцев И. В. и др. 1966б. Действие постоянных магнитных полей на эмбриональное и постэмбриональное развитие лягушек. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 73.
Труды первого Всесоюзного совещания по применению ультракоротких волн в медицине. 1940. М.
Тульский С. В. и др. 1965. О спектрах пьезоэлектрического резонанса биополимеров. В кн. «Молекулярная биофизика». М., Наука, стр. 41.
Турлыгин С. Я. 1937. О воздействии сантиметровых волн на центральную нервную систему.— ДАН СССР, 17, 19.
Турлыгин С. Я. 1942. Излучение микроволн 2 *мм* организмом человека. Бюлл. экспер. биол. и мед., № 4, 63.
Турлыгин С. Я. 1952. Введение в общую радиотехнику. М., Госэнергоиздат.
Тягин Н. В. 1957. Изменение крови у животных под влиянием СВЧ-поля.— Тр. ВМОЛА, 73, 116.
Тягин Н. В. 1958. О тепловом действии СВЧ-электромагнитного поля.— Бюлл. экспер. биол. и мед., № 8, 67.
Уманский Д. М. 1965. Влияние магнитного поля на диэлектрическую проницаемость технической воды.— ЖТФ, 35, 2245.
Фёрстер Г. 1965. Био-логика. В кн. «Проблемы бионики». М., Мир, стр. 7.

Физический энциклопедический словарь, т. 4. 1965. М., Изд-во «Советская энциклопедия».
Франке В. А. 1957. Измерение электрических и магнитных составляющих высокочастотного поля в непосредственной близости от источников излучения (в зоне индукции) в диапазоне 100 *кгц* — 300 *Мгц*. Юбилейная научная сессия Института гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР. Тезисы докладов. М., стр. 71.
Франке В. А. 1958. Измерение электрической и магнитной составляющей высокочастотного поля в диапазоне частот 100 *кгц* — 3 *Мгц* и разработка прибора. В кн. «Защита от действия электромагнитных полей и электрического тока в промышленности». Л., стр. 64.
Френкель Г. Л. 1930—1940. Электрическое поле УВЧ в биологии и экспериментальной медицине. Вып. 1—4. М.— Л., Медгиз.
Фукалова П. П. 1964а. Гигиеническая характеристика условий работы с источниками КВ и УКВ на радиостанциях и телевизионных станциях. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 158.
Фукалова П. П. 1964б. Влияние коротких и ультракоротких волн на температуру тела и выживаемость у экспериментальных животных. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 78.
Фукалова П. П. 1964в. Чувствительность обонятельного анализатора у лиц, подвергающихся воздействию КВ и УКВ в режиме непрерывной генерации. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 144.
Хальберг Ф. 1964. Временная координация физиологических функций. В кн. «Биологические часы». М., Мир, стр. 475.
Халифман И. А. 1965. Пчелы, муравьи и счетчики Гейгера.— Наука и жизнь, № 5, 72.
Хведелидзе М. А. и др. 1965. О биоэлектромагнитном поле. В кн. «Бионика». М., Наука, стр. 305.
Холодов Ю. А. 1958. Об образовании условных рефлексов на магнитное поле у рыб. В кн. «Труды совещания по физиологии рыб». М., Изд-во АН СССР, стр. 82.
Холодов Ю. А. 1963а. О значении основных отделов головного мозга рыб при выработке электрооборонительных условных рефлексов на разные раздражители. В кн. «Нервные механизмы условнорефлекторной деятельности». М., Изд-во АН СССР, стр. 287.
Холодов Ю. А. 1963б. Некоторые особенности физиологического действия электромагнитных полей по данным условнорефлекторной и электроэнцефалографической методик. XX совещание по проблемам высшей нервной деятельности. Тезисы докладов. М.— Л., Изд-во АН СССР, стр. 253.
Холодов Ю. А. 1965а. Успехи современной магнитобиологии. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 309.
Холодов Ю. А. 1965б. Магнитное поле как раздражитель. В кн. «Бионика». М., Наука, стр. 278.
Холодов Ю. А. 1966. Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. М., Наука.
Холодов Ю. А., Зенина И. Н. 1964. Влияние кофеина на ЭЭГ-реакцию при воздействии импульсного поля СВЧ на интактный и изолированный мозг кролика. В кн. «О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот». М., стр. 33.
Черкашин А. Н. и др. 1965. О действии искусственного магнитного поля на планарий. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей.» Томск, стр. 336.
Чернавский Д. С. и др. 1967. Об упругих деформациях белка-фермента. Мат. к симп. «Физика и биология», М., стр. 4.
Чернышев В. Г. 1966. Влияние возмущений земного магнитного поля на

активность насекомых. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 80.
Чечик П. О. 1953. Радиотехника и электроника в астрономии. М., Госэнергоиздат.
Чижевский А. Л. 1963. Солнце и мы. М., Знание.
Чижевский А. Л. 1964. Об одном виде специфически биоактивного или Z-излучения солнца. В кн. «Земля во вселенной». М., Мысль, стр. 342.
Чиженкова Р. А. 1966. Исследование роли специфических и неспецифических образований в электрических реакциях головного мозга кролика, вызываемых электромагнитными полями УВЧ и СВЧ и постоянным магнитным полем. Автореферат канд. дисс. М.
Чирков М. М. 1964. Влияние энергии электромагнитных колебаний звукового спектра на каталазную активность крови. В кн. «Некоторые вопросы физиологии и биофизики». Воронеж. стр. 25.
Чирков М. М. 1965. Влияние энергии электромагнитных колебаний звукового и радиочастотного диапазона на активность каталазы и пероксидазы крови кроликов и тканей крыс. Автореферат канд. дисс. Воронеж.
Чуваев П. П. 1966. Влияние активаторов и парализаторов роста растений и фаз луны на эффект различной ориентации зародышей семян в магнитном поле земли. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 82.
Шапиро Д. Н. 1955. Расчет эффективности экранирующих камер.— Радиотехника, 10, 36.
Шахбазов В. Г. и др. 1966. Влияние постоянного магнитного поля на проявление инбредной депрессии и гетерозиса. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 84.
Шкловский И. С. 1953. Радиоастрономия. М., Гос. изд-во технико-теор. лит.
Шмальгаузен И. И. 1964. Регуляция формообразования в индивидуальном развитии. М., Наука.
Шмелев В. П. 1964а. Состояние электрической активности головного мозга при воздействии на организм энергии электромагнитных колебаний звукового и радиочастотного диапазона. В кн. «Некоторые вопросы физиологии и биофизики». Воронеж, стр. 98.
Шмелев В. П. 1964б. Влияние электромагнитного поля звукового и радиочастотного диапазона на рефлекторную деятельность спинного мозга. В кн. «Некоторые вопросы физиологии и биофизики». Воронеж, стр. 89.
Шмитт Ф. 1961. Молекулярная биология и физическая основа жизненных процессов. В кн. «Современные проблемы биофизики», I. М., ИЛ, стр. 13.
Шноль С. Э. 1965. Синхронные конформационные колебания молекул актина, миозина и актомиозина в растворах. В кн. «Молекулярная биофизика». М., Наука, стр. 56.
Шноль С. Э. 1967. Конформационные колебания молекул. В кн. «Колебательные процессы в биологических и химических системах». М., Наука (в печати).
Шовен Р. 1965. От пчелы до гориллы. М., Мир.
Штернберг И. Б. 1966. Влияние постоянного магнитного поля на образование специфических антител. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., стр. 90.
Шульц Н. А. 1964. Влияние солнечной активности на численность белых кровяных телец. В кн. «Земля во вселенной». М., Мысль, стр. 382.
Щербак А. Е. 1936. Основные труды по физиотерапии. Ленинград — Севастополь.
Щербиновский Н. С. 1964. Циклическая активность Солнца и обусловленные ею ритмы массовых размножений организмов. В кн. «Земля во вселенной». М., Мысль, стр. 400.
Эллисон М. А. 1959. Солнце и его влияние на Землю. М., Гос. изд-во физико-матем. лит.

Эльдаров А. Л. 1965. Влияние постоянного магнитного поля на птиц. В кн. «Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей». Томск, стр. 375.
Эльдаров А. Л., Холодов Ю. А. 1964. Влияние постоянного магнитного поля на двигательную активность.— Журн. общ. биол., 25, 224.
Эрлих П., Холм Р. 1966. Процесс эволюции. М., Мир.
Яновский Б. М. 1964. Земной магнетизм. I. Л., Изд-во ЛГУ.
Addington C. et al. 1961. Biological effects of microwave energy at 200 mc.— In: Biological effect of microwave radiation, v. I. N. Y., Plenum Press, p. 177.
Adey W. et al. 1962. Impedance measurement in brain tissues of animals using microvolt signals.— Exptl. Neurol., 5, 47.
Adey W. et al. 1963. Impedance changes in cerebral tissue accompanying a learned discriminative performance in the cat.— Exptl. Neurol., 7, 259.
Aghina C. et al. 1965. Il tenore in acidi grassi a catena lunga e con numero pari di atomi di carbonio (da C_{16} a C_{18}) della quota lipidica del latte prodotto da bovine di razza frisona n. p. sottoposte a livello mammario, all'azione di un campo magnetico relante in bassa frequenza.— Atti Soc. It. Scienze Veter. 9.
Akoyunoglou G. 1964. Effect of magnetic field on carboxydismutase.— Nature, 202, 425.
Alexander H. 1962. Biomagnetics. The biological effects of magnetic fields.— Amer. J. Med. Electronics, 1, 181.
Alm H. 1958. Einführung in die Microwellen-Therapie.— Berlin, Berliner Med. Verlag.
Alvares A. 1935. Apparent points of contact between the daily course of magnet components of the earth together with certain solar elements and the diastolic pressure of human beings and the total count of their leucocytes.— Puerto Rico J. Public Health, 10, 734.
Amer N., 1956. An observation on the detection by the ear of microwave signals. 1956.— Proc. IRE, 44, 2A.
Amer N., Tobias C. 1965. Analysis of the combined effect of magnetic fields, temperature and radiation on development.— Radiat. Res., 25, 172.
Anne A. et al. 1961. Relative microwave absorption cross section of biological significance.— In: Biological effect of microwave radiation, v. I. N. Y., Plenum Press, p. 153.
Audus L. 1960. Magnetotropism: a new plant growth.— Nature, 185, 132.
Audus L., Wish J. 1964. Magnetotropism.— In: Biological effects of magnetic fields. N. Y., Plenum Press, p. 170.
Austin G., Horwath S. 1949. Production of convulsions in rats by exposure to ultra-high frequency electrical currents (radar).— Amer. J. Med. Sci., 218, 115.
Austin G., Horwath S. 1954. Production of convulsions in rats by high frequency electrical currents.— Amer. J. Phys. Med., 33, 141.
Bach S. 1961. Changes in micromolecules produced by alternating electric fields.— Digest Internat. Conf. Med. Electronics, 21, 1.
Bach S. 1965. Biological sensitivity to radiofrequency and microwave energy.— Federat. Proc., 24, pt 3, 22.
Bach S. et al. 1961a. Effects of R-F energy on human gamma globulin.— J. Med. Electronics, Sept.— Nov., 9.
Bach S. et al. 1961б. Effect of radiofrequency energy on human gamma globulin.— In: Biological effect of microwave radiation, v. I. N. Y., Plenum Press, p. 117.
Baranski S. et al. 1963. Recherches experimentales sur l'effet mortel de irradiation des ondes micrométriques.— Rev. med. aeron., 2, 108.
Barber D. 1961. The reaction of luminous bacteria to microwave radiation in the frequency range of 2608.7—3082.3 MC.— Techn. Rep. Univ. Michigan School of Public Health, April.
Barker V. et al. 1956. Some effects of microwaves on certain insects with infect wheat and flour.— J. Econ. Entomol., 49, 33.

Barlow H. et al. 1947. Visual sensations aroused by magnetic fields.— Amer. J. Physiol., 148, 372.
Barnothy J. 1964. Basic concepts related to magnetic field and magnetic susceptibility.— In: Biological effects of magnetic fields, v. I. N. Y., Plenum Press, p. 3.
Barnothy M., Barnothy J. 1960. Biological effects in magnetic fields.— In: Medical Physics, v. 3. The Year Book Publ., Chicago, p. 61.
Barnothy M. 1963a. Biological effects of magnetic fields on small mammals.— In: Biomedical sciences instrumentation, v. I. Plenum Press, p. 127.
Barnothy M. 1963. Reduction of radiation mortality through magnetic pretreatment.— Nature, 200, 279.
Barnothy M. 1964. Development of young mice.— In: Biological effects of magnetic fields, v. 1, N. Y., Plenum Press, p. 93.
Barnothy J. 1963. Growth rate of mice in static magnetic fields.— Nature, 200, 86.
Barnothy M., Barnothy J. 1963. Second-day minimum in the growth curve of mice.— Nature, 200, 189.
Barnwell F., Brown F. 1964. Responses of planarians and snails.— In: Biological effects of magnetic fields, v. I. N. Y., Plenum Press, p. 263.
Bartoneck V. Klimkova-Deutscheva E. 1964.— Casop. lékaru Českych. 1, 26.
Baule G., McFee R. 1963. Detection of the magnetic field of the heart.— Amer. Heart J., 66, 95.
Bayley S. 1951. The dielectric properties of various solid crystalline proteins, amino-acids and peptides.— Trans. Faraday Soc., 47, 509.
Becker G. 1963a. Magnetfield-orientierung von Dipteren.— Naturwissenschaften, 50, 564.
Becker G. 1963b. Reaction of insects to magnetic fields.— 2nd Internat. Biomagnet. Sympos., p. 19.
Becker R. 1963a. The biological effects of magnetic fields.— A survey.— Med. Electronics and Biol. Engng., 1, 293.
Becker. R., 1963b. Relationship of geomagnetic environments to human biology.— N. Y. State J. Med., 63, 2215.
Becker R. et al. 1962. The direct current control system. A link between environment and organism.— N. Y., State J. Med., 62, 1169.
Beischer D. 1962. Human tolerance to magnetic fields.— Astronautics, 7, 46.
Beischer D. 1964. Survival of animals in magnetic fields 140000 e.— In: Biological effects of magnetic fields, v. I. N. Y. Plenum Press, p. 201.
Beischer D. 1965. Biomagnetics.— Ann. N. Y. Acad. Sci., 134, 454.
Berg H. 1960. Phénomènes solaires terrestres en biologie.— Dans: Relations entre phénomènes solaires et terrestres en chimie-physique et biologie.— Bruxelles, Press Acad. Europ., p. 160.
Bibbero R. 1951. Telepathic communication.— Proc. IRE, 39, 290.
Biological effects of microwave radiation, v. I, 1961, N. Y. Plenum Press.
Biological effects of magnetic fields. v. I. 1964, N. Y., Plenum Press.
Boe A., Salunkhe D. 1963. Effect of magnetic field on tomato ripening.— Nature, 199, 91.
Boldwin M. et al. 1960. Effect of radio-frequency energy on primate cerebral activity.— Neurology, 10, 178.
Boyle A. et al. 1950. The effects of microwaves. Preliminary investigation.— Brit. J. Phys. Med., 13, 2.
Boysen J. 1953. Hyperthermic and pathologic effects of electromagnetic radiation (350 Mc).— Arch. Industr. Hyg., 7, 516.
Brown F. 1959. Living clocks.— Science, 130, 1535.
Brown F. 1962a. Extrinsic rhythmicality: A reference frame for biological rhythms under so-called constant conditions.— Ann. N. Y. Acad. Sci., 98, 775.
Brown F. 1962b. Responses of the planarian Dugesia and the protozoan *Paramecium* to very weak horizontal magnetic fields.— Biol. Bull., 123, 264.

Brown F. 1962a. Response of the planarian *Dugesia* to very weak horizontal electrostatic fields.— Biol. Bull., **123**, 282.
Brown F. 1963a. The biological rhythm and its bearing on space biology.— In: Bioastronautics-fundamental and practical problems, v. 17. Cleveland, p. 29.
Brown F. 1963б. How animals respond to magnetism.— Discovery, Nov.
Brown F. 1963в. An orientational response to weak gamma radiation.— Biol. Bull., **125**, 206.
Brown F. et al. 1956. Solar and lunar rhytmicity in the rat in «constant conditions» and mechanism of physiological time measurement.— Amer. J. Physiol., **184**, 491.
Brown F. et al. 1960a. A magnetic compass response of an organism.— Biol. Bull., **118**, 382.
Brown F. et al. 1960б. Magnetic response of an organism and its solar relationships.— Biol. Bull., **118**, 367.
Brown F. et al. 1964a. Adaptation of the magnetoreceptive mechanism of mud-snails to geomagnetic strength.—Biol. Bull., **127**, 221.
Brown F. et al. 1964б. A compass directional phenomenon in mud-snails and its relation to magnetism.— Biol. Bull., **127**, 206.
Brown G., Morrison W. 1954. An exploration on the effects of strong radio-frequency fields on microorganisms in aquaous solution.— Food Technol., **8**, 361.
Brown G., Morrison W. 1956. An exploration of the effects of strong radio-frequency fields on microorganisms in aquaous solutions.— Trans. IRE. Med. Electronics, PGME — **4**, 16.
Buchanan T. 1952. Balance methods for measurement of permitivity in microwave region.— Proc. IRE, **99**, pt 3, 61.
Buchanan T. et al. 1952. Dielectric estimation of protein hydration.— Proc. Roy. Soc. London, **213A**, 379.
Burr H., Mauro A. 1949. Electrostatic fields of the sciatic nerve in the frog.— Yale J. Biol. Med., **21**, 455.
Butler B., Dean W., 1964. The inhibitory effect of magnetostatic field upon the tissue culture of K. B. cells.— Amer. J. Med. Electronics, 3, 123.
Caramello E. et al. 1965. La dinamica delle variazioni quantitative de alcuni acidi grassi (C_{12} e C_{18}) e del loro rapporto nel latte vaccino: indagini sulla quota lipidica nel prodotto secreto dalla ghiandola mammaria sottoposta agli effetti di un campo magnetico rotante in bassa frequenza.— Ann. Fac. Med. Veter. di Torino, **15**.
Carpenter R. et al. 1960. Opacities in the lens of the eye experimentally induced by exposure to microwave radiation.— Trans IRE. Med. Electronics ME — 7, 152.
Carpenter R. et al. 1961. The effect on the rabbit eye of microwave radiation at X-band regions.— Digest Internat. Conf. Med. Electronics, **26**, 5.
Cater D. et al. 1964. Combined therapy with 220 kv rentgen and 10 cm microwave heating in rat hepatoma.— Acta radiol., **2**, 321.
Cassiano O. et al. 1966. Alcune risposte vasomotorie dell'uomo sottoposto all'azione di un campo magnetico.— Minerva Anest. **32**, 32.
Cazzamali F. 1925. Phénomènes télepsychiques et radiations cerebrales.— Neurologica, **6**, 193.
Cazzamali F. 1928. Les ondes électromagnétiques correlations avec cerzains phénomènes psychosensoriels.— Comt. rend. III Congr. internat. Rech. psychigues, Paris.
Cazzamali F. 1929. Experience agromenti et problemi di biofisica cerebrale.— Quaderni di psichiatrica **16**, 81.
Cazzamali F. 1935. Di un fenomeno radiante cerebropsichico comb mezzo di esporazione psichobiofisica.— Giorn. psichiatria, neuropatol., **63**, 45.
Cazzamali F. 1936. Phénoménes électromagnétiques du cerveau human en active psychosensorielle intense et leur demonstration par des complexes oscillateursrevelateurs a triodes pour ondes ultra-conates.— Arch. neurol., **54**, 113.

Cazzamali F. 1941. Di nuovo apparato radio-electro rivelatore dei fenomeni electromagnetici radianto dei cervello umano.— L'energio electrica, 18, 28.
Cellino Tosi A. et al. 1963. Variazioni indette da un campo magnetico rotante in bassa frequenza-applicato alla shiandola mammaria — sul tasso di acido linoleico e di acido linolenico nella quota lipidica del latte secreto da bovine di razza frisona n. p.— Ann. Fac. Med. Veter. di Torino, 15.
Chalazonitis N., Arvanitaki A., 1965. Effets du champ magnétique constant sur l'autoactivité des fibres myocardigues.— Compt. rent. Soc. biol., 10, 1962.
Ciba foundation symposium on extrasensory perception.— 1956, London, J. Churchill.
Ciecura L., Minlcki L. 1964. Rozmieszenie i aktywnośč niektorych enzymow hydrolitycznych w jadrach szczurow poddawanych dzialania.— Med. pracy, 15, 159.
Clark J. 1950. Effects of intense microwave radiation on living organisms.— Proc. IRE, 38, 1028.
Cole K., Cole R. 1941. Dispersion and absorption in dielectrics. I. Alternating current characteristic.— J. Chem. Phys., 9, 34.
Cook H., 1951a. The dielectric behaviour of some types of human tissues at microwave frequencies.— Brit. J. Appl. Phys., 2, 295.
Cook H. 1951б. Dielectric behaviour of human blood at microwave-freguencies.— Nature, 168, 247 .
Cook H. 1952a. A physical investigation of heat production in human tissues when exposed to microwaves.— Brit. J. Appl. Phys., 3, 1.
Cook H., 1952б. A comparison of the dielectric behaviour of pure water and human blood at microwave frequencies.— Brit. J. Appl. Phys., 3, 249
Cook H. 1952в. The pain treshold for microwave and infrared radiations.— J. Physiol., 118, 1.
Cook H., Buchanan T. 1950. Dielectric behaviour of methylpalmitate at microwave regions.— Nature, 165, 358.
Cook E. et al. 1964. Increase of trypsin activity.— In: Biological effects of magnetic fields., v. 1, N. Y., Plenum Press, p 246.
Cooper R., 1946. The electrical properties of salt-water solutions over the fregaency range 1—4000 Mc.— J. Inst. Electr. Engrs., 93, pt. 3, 69.
Daily L. et al. 1951. Influence of microwaves on certain enzyme system in the lens of the eye.— Amer. J. Ophtalmol., 34. 1301.
Dainotto F. et al. 1962. Studio delle frazioni glicidiche nel musculo schelectrico dell'animale da esperimento trattato con microonde.— Policlinico, 69, 270.
D'Arsonal. 1893. Production des courants de haute frequence et de grande intensité, leurs effets physiologiques.— Compt. rend. Soc. biol., 45, 122.
Danilewski V [Данилевский В.] 1905. Beobachtungen über eine subjective Lichtempfindung in variablen magnetische Felde.— Pflügers Arch.,108, 513.
Deichmann W. 1961. Factors that influenced the biological effects of microwave radiation.— Industr. Med. Surg., 30, 264.
Deichmann W. et al. 1959. Acute effects of microwave radiation on experimental animals (2400 Mc).— J. Occup. Med., 1, 369.
Deichmann W. et al. 1961. Microwave radiation of 10 mw/cm² and factors that influence biological effects at various power densities.— Industr. Med. Surg., 30, 221.
Deichmann W. et al. 1964. Effect of microwave radiation on the hemopoietic system of the rat.— Toxic. Appl. Pharmacol., 6, 71
Dijkgraaf S. 1964. Electroreception and ampullae of Lorenzini in Elasmobranchs.— Nature, 201, 523.
Dolatkowski A. et al. 1963. Badania nad wplywem mikrofal aparatury radarowej na jadra i najadrza krolikow.— Polski przegl. chir., 35, 1221.
Dolatkowski A. et al. 1964. Studies on the effect of microwaves emitted by radar devices on the testicles and epididymides of rabit.— Polish. Med. J., 3, 1156 .

Dryden J., Jackson W. 1948. Dielectric behaviour of methylpalmitate: evidence of resonance absorption.— Nature, **162**, 676.

Dryl S. 1965. Electrifield animals.— New Scient., **26**, 303.

Duhamel J. 1958. Dangers biologiques des ondes courtes.— Presse med., **66**, **744**.

Duhamel J. 1959. Effets biologiques des ondes radioélectriques uftracourtes.— Presse Med., **67**, 151.

Dull T., Dull B. 1935. Zusammenhänge zwischen Störungen des Erdmagnetismus und Häufungen von Todesfällen.— Dtsch. med. Wchschr., **61**, 95.

Eakin S., Thomson 1962. Effects of microwave radiation on activity level of rats.— Psychol. Rept., **11**, 192.

Edwards D. 1960a. Effects of artifically produced atmospheric electrical fields upon the activity of some adult Diptera.— Canad. J. Zool., **38**, 899.

Edwards D. 1960б. Effects of experimentally altered unipolar aeroion density upon the amount of activity of the blowfly Calliphora vicina R. D.— Canad. J. Zool., **38**, 1079.

Edwards D. 1961. Influence of electrical field on pupation and oviposition in Nepytia Phantasmaria Stkr.— Nature, **191**, 976.

Egan W. 1957. Eye protection in radar fields.— Electr. Engrg., 76, 126.

Ely T., Goldman D. 1956a. Heat exchange characteristics of animals exposed to 10 cm microwaves.— Trans. IRE Med. Electronics, PGME-4, 38.

Ely T., Goldman D. 1959б. Heating characteristics of laboratory animals exposed to ten centimetre microwaves.— Nav. Med. Res. Inst., **15**, **77**.

England T. 1950. Dielectric properties of the human body for wavelengths 1 — 10 cm range.— Nature, **166**, 480.

England T., Sharpless N. 1949. Dielectric properties of the human body in the microwave region of the spectrum.— Nature, **163**, 487.

Epstein N., Cook H., 1951. The effects of microwaves on the Rows N 1. Fowl carcome virus.— Brit. J. Cancer, **5**, **244**.

Esay A. et al. 1936. Temperaturmessungen angeschichteten biologischen Geweben bei Frequenzen von 2, 7. 10^7 Hz bis 1,2. 10^8 Hz.— Naturwissenschaften **24**, 520.

Van Everdingen W. 1938. Bestralingen met golven van Hertz.— Nederl. ijdschr. geneeskunde, **82**, 284.

Van Everdingen W. 1940. Moleculare veranderingen tengevolge van bestraling met golven van Hertz met een frequentie van 1875 Megahertz.— Nederl. ijdschr. geneeskunde, **84**, 4370.

Van Everdingen W. 1941. Moleculare veranderingen en strukturwjzigungen ten gevolge van bestraling met golven van Hertz met een goltlengte van 10 centimeter.— Nederl. ijdschr. geneeskunde, **85**, 3094.

Van Everdingen W. 1946a. Metabolisme hepatique et probléme du cancer.— Rev. belgl sci. med. **5**, 279.

Van Everdingen W. 1946б. Sur l'alteration moleculaire et structurale par irradiation avec des ondes hertziennes de 16 et 10 centimeteres (1875 et 3000 mhz).— Rev. belge sci. med., **5**, 261.

Van Everdingen W. 1964. Sur l'alteration moleculaire et structurale par irradiation avec des ondes hertziennes de 16 et 10 centimetres (1875 et 3000 mhz), transformations moleculaires.— Rev. belge sci. med., **5**, **271**.

Ewart A. 1903. On the physics and physiology of protoplasmic streaming in plants.— Oxford, Clarendon Press.

Fessard A., Szabo T. 1961. Mice en evidence d'un recepteur sensible à l'électricité dans la peau des mormyres.— C. r. Acad., sci., **253**, 1859.

Fleming H. 1944. Effect of high-frequency fields on microorganisms.— Electr. Engrg. **1**, 18.

Fleming J. et al. 1961. Microwave radiation in relation to biological systems and neural activity.— In: Biological effects of microwave radiation, v. I. N. Y., Plenum Press, p. 239.

Foner B. 1963. Human erytrocyte agglutination in magnetic fields.— Abstr. WE-4, Biophys. Soc., 7-th Annual meeting.

Franke et al. 1962. Study of high-frequency components in electrocardiograms by power spectrum analysis.— Circulat. Res., **10**, 870.
Frey A. 1961. Auditory system response te radio frequency energy.— Aerospace Med., **32**, 1140.
Frey A. 1962. Human auditory system response to modulated electromagnetic energy.— J. Appl. Physiol., **17**, 689.
Frey A. 1963a. Some effects on human subjects of ultrahigh frequency radiation.— Amer. J. Med. Electronics, **2**, 28.
Frey A. 1963б. Human response to very low-frequency electromagnetic energy.— Naval Res Rev., **16**, 1.
Frey A. 1965. Behavioural biophisics.— Psychol. Bull., **63**, 322.
Fricke H. 1925. A mathematical treatment of the electric conductivity and capacity of disperse system.— Phys. Rev., **26**, 678.
Friedman H., Becker R. 1963. Geomagnetic parametres and psychiatric hospital admissions.— Nature, **200**, 626.
Friedman H. et al. 1962. Direct current potentials in hipnoaneigesia.— Gen. Psychol., **79**, 193.
Füredi A., Valentine R. 1962. Factors involved in the orientation of microscopic particles in suspensions influenced by radio-frequency fields.— Biochim. et biophys. acta, **56**, 33.
Füredi A., Ohad I. 1964. Effects of High-frequency electric fields on the living cell.— Biochim. et biophys. acta, **79**, 1.
Gengerelli J. et al. 1961. Magnetic fields accompanying transmission of nerve impulse in the frog sciatic.— J. Psychol., **52**, 2.
Gengerelli J. et al. 1964. Further observations on magnetic field accompanying nerve transmission and tetanus.— J. Psychol., **54**, 201.
Gerenser V. et al. 1962. Inhibition of bacterial growth by magnetic fields.— Nature, **196**, 539.
Gerenser V. et al. 1964. Inhibition of bacterial growth in field of high paramagnetic strength.— In: Biological effects of magnetic fields, v. 1, H. Y., Plenum Press, p. 229.
Gordon D. 1948. Sensitivity of the homing pigeon to the magnetic field of the earth.— Science, **108**, 710.
Grant E. 1957. The dielectric method of estimating protein hydration.— Phys. in Med. Biol., **2**, 17.
Griffin D. 1955. Bird navigation.— In: Recent studies in avian biology. Urbana, Univ. Illinois Press, p. 154.
Gross L. 1962. Effect of magnetic fields on tumor immune response in mice.— Nature, **195**, 662.
Gross L. 1963. The influence of magnetic fields on the production of antibody.— In: Biomed. Science Instrumentation, v. 1, N. Y., Plenum Press, p. 137.
Gross I. 1964. Distortion of the bond angle in a magnetic field and its possible magnetobiological implications.— In: Biological effects of magnetic fields, v. 1. N. Y. Plenum Press, p. 74.
Grouch G. 1948. Dielectric measurements at microwave frequencies.— J. Chem. Phys., **16**, 364.
Gunn S. et al. 1961a. The effects of microwave radiation on the male endocrine system of the rat.— Lab. Invest., **10**, 301.
Gunn S. et al. 1961б. The effects of microwave radiation (24000 Mc) on the male endocrine system of the rat.— In: Biological effects of microwave radiation, v. 1. N. Y., Plenum Press, p. 99.
Hackel E. 1964. Magnetic field effects on erythrocyte agglutination. Vox Sanguinis, **9**, 60.
Hackel E. et al. 1961. Enhancement of human erythrocyte agglutination by constant magnetic fields.— 2[d] Internat. Conf. High Magnetic Fields. Cambridge.
Hackel E. et al. 1964. Agglutination of human erythrocytes.— In: Biological effects of magnetic fields, v. 1. N. Y. Plenum Press, p. 218.

Haggis G. et al. 1951. Estimation of protein hydration by electric measurements at microwave frequencies.— Nature, 167, 607.
Handbook of Biological Data. 1956. National Res. Council, Washington.
Hansel C. 1966. ESP a scientific evaluation. N. Y. Charles Scribuérs sons.
Hardy A. 1949. Report on the 112 Annual Meeting of Brit. Association for Advanced Science — Science, 110, 523.
Harrary J. 1962. Heart cells in vitro.— Scient. Amer., 206, 141.
Hartmuth Z. 1954. Die dielektrischen Eigenschaften biologischen Substanzen im Dezimeterwellen-Bereich.— Z. Naturforsch., 96, 257.
Hedrick H. 1964. Inhibition of bacterial growth in homogenous fields.— In: Biological effects of magnetic fields, v. I. N. Y., Plenum Press, p. 220.
Heinmets F., Hershman A. 1961. Consideration on the effects produced by superimposed electric and magnetic fields in biological systems and electrolytes.— Phys. in Med. Biol., 5, 271.
Heller J. 1959. Effect of high-frequency electromagnetic fields on microorganisms.— Radio Electronics, 6, 6.
Heller J. 1963. High-frequency treatment of matter.— Pat. USA, 195—78, N 3095359, 25.5.
Heller J., Mickey G. 1961. Non-termal effects of radio frequency in biological system.— Digest Internat. Conf. Electronics, 21, 2.
Heller J. Teixeria-Pinto A. 1959. A new physical method of creating chromosomal aberration.— Nature, 183, 905.
Hendler E., Hardy J. 1960. Infrared and microwave effects on skin temperature sensation.— Trans. IRE, Med. Electronics, ME-7, 143.
Herrick J. 1958. Pearl chain formation.— Proc. 2d Tri Serv. Conf. on Biological effects of microwave energy. Rome, N. Y., p. 83.
Herrick J. et al. 1950. Dielectric properties of tissues important in microwave diathermy.— Federat. Proc., 9, 60.
Herron T. 1965. Phase modulation of geomagnetic micropulsations.— Nature, 207, 699.
Hill T. 1958. Some possible biological effects of an electric field acting on nucleic acids or proteins.— J. Amer. Chem. Soc., 8, 2142.
Hirsch F. 1956. The use of biological simulants in estimating the dose of microwave energy.— Trans IRE, Med. Elestronics, PGME-4, 22.
Hoeft L. 1965. Microwave heating: a study of the critical exposure variables for man and experimental animals.— Aeraspace Med., 36, 621.
Holiman H., 1952. Telepathic communications.— Proc. IRE, 40, 995.
Horn G. 1965. Le caratteristische electrische passive dei sistem biologici.— Automaz. e Automat., 9, 5.
Howland J. et al. 1961. Biomedical aspects of microwave irradiation on mammals.— In: Biological effects of microwave radiation, v. I, N. Y. Plenum Press, p. 261.
Howland J., Micaheson S., 1964. The effect of microwaves on the biologic response to ionizing radiation.— Industr. Med. Surg., 33, 500.
Imig C. et al. 1948. Testicular degeneration as result of microwave irradiation.— Proc. Soc. Exper. Biol. and Med., 69, 382.
Jaski T., 1960. Radio waves and life.— Radio Electronics, 31, 43.
Jackson W. 1946. The representation of dielectric properties and the principles underlying their measurements at centimeter wave lengths.— Trans. Faraday Soc., 42 A, 91.
Jackson W. 1949. Dielectric behaviour of methylpalpalmitate.— Nature, 164, 486.
Kalant H. 1959. Physiological hazards of microwave radiation: a survey of published literature.— Canad. Med. Assoc. J., 81, 575.
Kay C., Schwan H. 1957. Capacitive properties of body tissues.— Circulation, 5, 439.
Kelly M. 1962. Electromagnetic effects on nervous system.— Res. report 63—27. Univ. California, Berkeley.

Kelly M. 1963. Measurement of neuron activity by paramagnetic resonance.— Res. report N PIBMPI — 1071—62. Polytechn. Inst. Brooklyn.

Keplinger M. 1958. Review of the work conducted at the University of Miami.— Prec. 2d Thi-Serv. Conf. on Biological effects of microwave energy. Rome, N. Y. p. 215.

Kinosita H. 1963. Electrical stimulation of Paramecium.— J. Fac. Sci. Tokyo Nniv., 4, 137.

Kinosita H. 1964. Electrical potentials and ciliary response in Opalina.— J. Fac. Sci. Tokyo Univ., 7, 1.

Knepton J., Beischer D. 1964. The effects of magnetic fields up to 140000 gauss on several organisms.— Federat. Proc., 23, pt. 1, 523.

Knoepp L. et al. 1962. The effect of low electrical frequencies on various normal and malignant cells.— Texas Rept. Biol. Med., 20, 623.

Korteling G. et al. 1964. Activity changes in alpha-amylase solutions following their exposure to radio-frequency energy.— U. S. Army Med. Res. Lab., 23 Mar., 1.

Laird E. 1952. Dielectric properties of some solid proteins at wavelengths 1,7 m and 3.2 cm.— Canad. J. Phys., 30, 663.

Laird E., Ferguson K. 1949. Dielectric properties of some animal tissues at meter and centimeter wavelengths.— Canad. J. Res. Sec. A, 27, 218.

Lang O., Koller G. 1956. Schutzmaßnahmen bei Hochfrequenzanlagen in Arbeits-Raumen.— Zbl. Arbeitsmed. und Arbeitsschut, 6, 13.

Leary F., 1959. Researching microwave health hazards.— Electronics, 32, 49.

Levengood W., Shinkle M. 1962. Solar flare effects on living organisms confined in magnetic fields.— Nature, 195. 967.

Levengood W. 1965. Factors influencing biomagnetic environments during the solare cycle.— Nature, 205, 465.

Liboff R. 1965. A biomagnetic hypothesis.— Biophys. J., 5, 845.

Lissman H. 1958. On the function and evolution of electric organs in fish.— J. Exper. Biol., 35, 156.

Lissman H., Machin K. 1958. The mechansm of the object location in Gymnarchus niloticus and similar fish.— J. Exper. Biol., 35, 451.

Lissman H., Machin K. 1963. Electric receptors in a nonelectric fish.— Nature, 199, 88.

Lorente de No. 1947. A study of nerve physiology.— Studies Rockfeller Inst., Mel. Res., 131, 132.

McAfee R. 1961. Neurophysiological effect of 3 cm microwave radiation.— Amer. J. Physiol., 200, 192.

McAfee R. 1962. Physiological effects of thermode and microwave stimulation of peripheral nerves.— Amer. J. Physiol., 203, 374.

McAfee R. et al. 1961. Neurological effects of 3 cm microwave iradiation.— In: Biological effects of microwave radiation, v. I. N. Y., Plenum Press. p. 251.

McElroy W., Seliger A. 1962. Biological luminescence.— Scient. Amer., 5, 2.

Maletto S. et al. 1965a. Il valore degli acidi grassi a catena breve e con numero pari di atomi di carbonio (da C_4 a C_{14}) presenti nella quota lipidica del latte secreto da bovine sottoposte, a livello mammaria, alla azione di un campo magnetico rotante in bassa frequenza.— Atti Fac. Med. Veter. in Torino, 19.

Maletto S. et al. 1965б. Gli acidi grassi della quota lipidica del latte vaccino secreto dalla ghiandola mammaria sottoposta all'azione di un campo magnetico rotante in bassa frequenza.— Atti. Fac. Med. Veter. in Torino, 19.

Maletto S. et al. 1965a. La quantita dii acidi grassi saturi e di acidi grassi saturi e di acidi grassi insaturi e le variaziom deii nidice AGS/AGI nella quota lipidica dei latte vaccino secreto dalla ghiandola mammaria cimentata da un campo magnetico rotante in bacca frequenza.— Atti. Fac. Med. Veter. in Torine, 19.

Maletto S., Valfre F. 1966. La nuova ecologia i osservazioni e rilievi sperimentali dell'ordine zootecnico.— Rep. 4th Inter. Biometeorological Congr.
Maletto S. et al. 1966a. Il Latte alimentare prodolto dalla ghiandola mammaria sottoposta all'azione di un campo magnetico di B. F.— Minerva Ped., 18, 784.
Maletto S. et al. 1966б. Alcune costanti fisiche e chimiche del latte alimentare prodotto dalla ghiandola mammaria sottoposta all'azione di un campo magnetico di B. F.— Minerva Ped., 18. 788.
Masoero P. et al. 1965. Primi risultati circa l'influenza dei campi elettrostatici e dell'acqua «attivata» sull'accrescemento ponderale.— Minerva Ped., 17, 1133.
Masoero P. et al. 1966. Hipoteza o novoj ekologiji.— «Stočarstvo», 20, 29.
Marha K. 1963. Nektera experimentalni pozorovani ucinku vysokofrekvencniho electromagnetickeho pole in vivo a in vitro.— Procavni lékar, 15, 238.
Maw M. 1961. Suppression of oviposition rate of scambus bidianae (Hymenoptera Ichneumonidae) in fluctuating electric fields.— Canad. J. Entomol., 93. 602.
Mericle R. et al. 1964. Plant growth response.— In: Biological effects of magnetic fields, v. 1, N. Y., Plenum Press, p. 183.
Merli G. et al. 1963. Azione del calore e delle onde corte sulla cellula neoplastica.— Arch. ital. patol. clin tumori, 6, 57.
Mermagen H. 1961. Phantom experiments with microwaves at the University of Rochester.— In: Biological effects of microwave radiation, v. 1.— N. Y., Plenum Press, p. 143.
Merola L., Kinosita J., 1961. Changes on the ascorbic acid content in lenses of rabbit eyes exposed to microwave radiation.— In: Biological effects of microwave radiation, v. I.— N. Y., Plenum Press, p. 285.
Michaelson S. et al. 1958. The biological effects of microwave irradiation in the dog.— Proc. 2d Tri — Serv. Conf.on Biological effects of microwave energy. Rome, N. Y. p. 175.
Michaelson S. et al. 1961a. The biological effects of microwave irradiation.— Digest Internat. Conf. Med. Electronics, 26, 4.
Michaelson S. et al. 1961б. Tolerance of dogs to microwave exposure under various conditions.— Industr. Med. Surg., 30, 298.
Michaelson S. et al. 1961в. Physiological aspects of microwave irradiation of mammals.— Amer. J. Physiol., 201, 351.
Michaelson S. et al. 1963. The influence of microwaves on ionizing radiation exposure.— Aerospace Med., 1963. 34, 111.
Michaelson S. et al. 1964. The hematologic effects of microwave exposure.— Aerospace Med., 35. 824.
Mickey G., 1963. Electromagnetism and its effect on the organism.— N. Y. State J., Med., 63, 1935.
Moressi W. 1964. Mortality patterns of mouse sarcoma 180 cells resulting pod wplywen dzialania mikrofal (plasmo «S»). I. Jednrazowe dzialanie mikrofal.— Med. pracy, 4. 255.
Minecki L., Romanik A. 1963. Zmiany czynności odruchowo warunkowej szczurow pod wplywen dzialania mikrofal (Plasmo «S»). II. Przewlekle dzialanie mikrofal.— Med. pracy. 14, 361.
Mittelman E. 1961. Relationship between heat sensation and high-frequency power absorption by humans.— Digest Internat. Conf. Med. Electronics, 26, 3.
Montani A. 1944. A generator on damped microwaves.— Electronics, 17, 144.
Moos W., 1964. A preliminary report on the effects electric fields on mice.— Aerospace Med., 35, 374.
Moressi W. 1964. Mortality patterns of mouse sarcoma 180 cells resulting from direct heating and chronic microwave irradiation.— Exper. Cell Res., 33, 240.

Mulay L. 1964. Basic concepts related to magnetic fields and magnetic susceptibility.— In: Biological effects of magnetic fields, v. 1. N. Y., Plenum Press, p. 33.

Mulay L., Mulay I. 1961. Effect of a magnetic field on sarcoma 37 ascites tumor cells. Nature, 190, 1019.

Mulay L., Mulay I. 1964. Effects on Drosophila melangaster and S-37 tumor cells.— In: Biological effects of magnetic fields, v. 1. N. Y., Plenum Press, p. 146.

Mumford W. 1961. Some technical aspects of microwave radiation hazards.— Proc. IRE, 49, 427.

Murayama M. 1965. Orientation of sicled erythrocytes in a magnetic field.— Nature, 206, 420.

Murphy J. 1942. The influence of magnetic fields on seed germination.— Amer. J. Bot. Suppl., 29, 15.

Murr L. 1965. Biophysics of plant growth in an electrostatic field.— Nature, 206, 467.

Neurath P. 1964. Simple theoretical models for magnetic interactions with biological units.— In: Biological effects of magnetic fields, v. 1. N. Y., Plenum Press, p. 25.

New biological effects of R-F.— Electronics, 1959, 32, 38.

Neville J. 1955. An experimental study of magnetic factors possibly concerned with bird-navigation.— Diss. Abstr., 15, 1855.

Novak J. 1963. Vliv impulsniho elektromagnetického pole na lidský organismus.— Casap. lékvara ceskych, 102, 496.

Nyrop J. 1946. A specific effect of high-frequency electric currents on biological objects.— Nature, 157, 51.

Obrosov A., Jasnogorodski V. /Обросов А., Ясногородский В./. 1961. A new method of physical therapy-pulsed electric field of ultrahigh frequency.— Digest Internat. Conf. Med. Electronics, p. 156.

Paff G. et al. 1962. The effects of microwave irradiation on the embryonic chick heart as revealed by electrocardiographic studies.— Anat. Rec., 142, 264.

Paff G. et al. 1963. The embrionic heart subjected to radar.— Anat. Rec., 147, 379.

Palmer J. 1962. The effect of weak magnetic fields on the spatial orientation and locomotory responses of *Volvox aureus*.— Doct. Diss., Northwestern Univ.

Palmer J. 1963. Organismic spatial orientation in very weak magnetic fields.— Nature, 198, 1061.

Parducz B. 1954. Reizphysiologische Untersuchungen an Zilliaten I. Über das Aktions-System von paramecium.— Acta microbiol. Acad. sci. hung., 1, 175.

Piccardi G. 1962. The chemical basis of medical climatology. Springfield. Ch. Thomas Publ., p. 141. (Имеется русский перевод: Дж. Пиккарди. Химические основы медицинской климатологии, Гидрометеоиздат, Л., 1967).

Piccardi G. 1965. Fluctuation phenomena — a subject for the world university.— 3d Plenary Meeting of Wordl Academy of Art and Science, Rome.

Picket J., Schrank A. 1965. Responses coleoptiles to magnetic and electric fields.— Texas J. Sci., 17, 245.

Pittman U. 1962. Growth reaction and magnetotropism in roots of winter wheat.— Canad. J. Plant Sci., 42, 430.

Pittman U. 1963. Effects of magnetism of coreal plants.— In: Biomedical Science Instrumentation, v. 1. N. Y., Plenum Press, p. 117.

Prausnitz S., Susskind C. 1962. Effect of chronic microwave irradiation on mice.— Trans. IRE, Med. Electronics, PGME-4, 104.

Prausnitz S. et al. 1961. Longevity and cellular studies with microwaves.— In: Biological effects of microwave radiation, v. 1. N. Y., Plenum Press, p. 135.

Rae J. et al. 1949. A comparative study of the temperature produced by microwave and short diathermy.— Arch. Phys. Med. 30, 199.
Rajewsky B., Schwan H. 1948. Die Dielektrizität Konstante und Leitfähigkeit des Blutes bei ultrahohen Frequenzen.— Nature, 155, 315.
Reiter R. 1960. Meteorobiologie und Elektrizität der Atmosphäre.— Leipzig, Akad. Verlagsgesellschaft.
Relation entre phénomènes solaires et terrestres en chimie-physique et en biologie.— Press Acad. Europ, Bruxelles, 1960.
Reno V., Nutini L., 1963. Effect of magnetic fields on tissue respiration.— Nature, 198, 2040.
Reynolds M. 1961. Development of garment for protection of personel working in high-power R — F environments.— In: Biological effects of microwave radiation, v. 1. N. Y., Plenum Press, p. 71.
Rhine J., Pratt J. 1957. Parapsychology (Frontier science of the mind). Springfield.
Richardson A. et al. 1952. The role energy, puppilary diameter and aloxan diabets in the production of ocular damage by microwave irradiation.— Amer. J. Ophtalmol., 35, 993.
Van Riper W., Kalmbach E. 1952. Homing not hindered by wing magnets.— Science, 115, 577.
Riviere M. et al. 1965a. Effets de champs électromagnétiques sur un Lymphosarcome Lymphoblastique transportable du rat.— Semaine hopitaux inform., 11, 6.
Riviere M. et al. 1965б. Action de champs électromagnetiques sur les greffers de la tumeur T8 chez le rat.— Semaine hopitaux inform., 11, 3.
Riviere M. et al. 1965a. Phénomènes de regression observes sur les greffer d'un Lymphosarcome chez des souirs exposeés a des champs électromagnétiques.— C. R. Acad. sci., 260, 2639.
Riviere M. et al. 1965г. Effect de champs électromagnétiques sur un Lymphosarcome Lymphoblastique transplantable du rat.— C. r. Acad. sci., 260, 2099.
Roberts J., Cook H. 1952.— Misrowaves in medical and research.— Brit. J. Appl. Phys. 3, 33.
Roppel R. 1963. A study of near infrared emission from mammalian cerebral cortecs.— Rept DDC 417125. Defense Decum. Center, Alexandria, Va.
Ruderfer M. 1952. Telepathy and the quantum. Proc. IRE 40, 1735.
Ryzl M. 1962. Training of ESP by means of hypnosis.— J. Soc. Psych. Res., N 711.
Sacchitelli G., Sacchitelli F. 1956. Lazione delle microonde radar sulla plasmalipasi e sull'amilasi serica.— Folia med., 39, 1037.
Sacchitelli G., Sacchitelli F., 1958. Sul comportamento della glutationemia in seguito ad irradiazioni con microonde radar.— Folia med. 41, 342.
Sarel M. et al. 1961. Zur Wirkung der elektromagnetischen Zentimeterwellen auf das Nervensystem des Menschen (Radar).— Z. Ces. Hyg., 7, 897.
Satio M. et al. 1961a. R-f-field-induced forces on microscopic particles.— Digest Internat. Conf. Med. Electronics, 21, 3.
Satio M. et al. 1961б. The time constants of pearl chain formation.— In: Biological effects of microwave radiation, v. 1. N. Y., Plenum Press, p. 85.
Scelsi B. 1957. Termogenesi da ultrasuoni e microonde (onde Radar) nei Tessuti organici non viventi.— Radioterap. radiobiol. e fis. med., 12, 135.
Scheminzky Fe., Scheminzky Fr., Bukatsch F., 1941. Electro-Tropismus Electrotaxis, Electronarcose und verwandte Erscheinungen.— Tab. Biol. 19, 2.
Schua L. 1953. Die Fluchtreaktionen von Goldhamstern aus elektrischen Feldern.— Naturwissenschaften, 40, 514.
Schwan H. 1948. Electrical properties of living tissues.— Amer. J. Med. Sci., 215, 233.
Schwan H. 1950. Resonance method for the determination of complex resistances and substances at decimeter waves.— Ann. Phys., 6, 253.

Schwan H. 1953a. Electrical properties of blood at ultrahigh frequencies.— Amer. J. Phys. Med., 32, 144.
Schwan H. 1953б. Messung von elektrischen Mater alkonstanten und Komplex-Widerstanden vor allen biologischer Substanzen.— Z. Naturforsch., 8, 3.
Schwan H. 1954. Die elektrischen Eigenschaftene von Muskelgewebe bei Niederfrequenz.— Z. Naturforsch., 98, 245.
Schwan H. 1955. Electrical properties of body tissues and impedance pletismography.— Trans. IRE, Med. Electronics, PGME-3, 32.
Schwan H. 1956. Electrical properties measured with alternating current: body tissues.— In: Handbook of Biological Data. National Res. Council, Washington.
Schwan H. 1957. Electrical properties of tissue and cell suspension.— Advances Biol. and Med. Phys., 5, 147.
Schwan H.1958. Molecular response characteristics to ultra-high frequency fields.— Proc. 2d Tri — Serv. Conf. on Biol. Effects of Microwave Energy.— Rome, N. Y., p. 33.
Schwan H. 1959. Alternating current spectroscopy of biological substances.— Proc. IRE, 47, 1841.
Schwan H., Carstensen E. 1957. Dielectric properties of the membrane of excised erythrocytes.— Science, 125, 985.
Schwan H., Kay C. 1956. Specific resistance of body tissues.— Circulation Res., 4, 664.
Schwan H., Li K. 1953. Capacity and conductivity of body tissues at ultrahigh frequencies.— Proc. IRE, 41, 1735.
Schwan H., Li K. 1955a. Measurement of materials with high dielectric constant and conductivity at ultrahigh frequencies.— Trans. AIEE. Communication and Electronics, 74, 603.
Schwan H., Li K. 1955б. Measurement of materials at ultrahigh frequencies.— Electr. Engng, 74, 64.
Schwan H., Li K. 1956a. Hazards due to total body irradiation by radar.— Proc. IRE, 44, 1572.
Schwan H., Li K. 1956б. Mechanism of absorption of ultrahigh frequency electromagnetic energy in tissues as related to the problem of tolerance dosage.— Trans. IRE, Md. Electronics, PGME — 4, 45.
Schwan H., Piersol G. 1954. Special review. The absorption of electromagnetic energy in body issues. Part I. Biophysical aspects.— Amer. J. Phys. Med. 33, 371.
Schwan H., Piersol G. 1955. The absorption of electromagnetic energy in body tissues. A review and critical analysyres. Part II. Physiological and clinical aspects.— Amer. J. Phys. Med., 34, 425.
Schwan H., Sittel K. 1953a. Wheatstone bridge for admittance determinations of highly conducting materials at low frequencies.— Trans. AIEE, Communication and Electronics, 72, 114.
Schwan H., Sittel K. 1953б. Wheatstone bridge for admittance determinations.— Electr. Engng, 72, 483.
Schwan H. et al. 1954. Electrical resistivity of living body tissues at low frequencies.— Federal. Proc. Amer. Soc. Exper. Biol. 13, 131.
Searle G. et al. 1961. Effects of 2450 Mc microwaves in dogs, rats ond larvai of the common fruit fly .— In: Biological effects of microwave radiation, v. I. N. Y., Plenum Press, p. 187.
Seguin L., 1949a. Lois de la repartition de la chaleur dans les tissue organismus après irradiation par un champ de microondes.— C. r. Acad. sci., 228, 135.
Seguin L., 1949б. Reversibilité des lesions observés sur des petits animaux exposés à des ondes d'ultrahaute frequence (longueur d'onde 21 cm).— C. r Acad. sci., 225, 76.

Seguin L., Castelain G. 1947a. Action des ondes d'ultrahaute frequence sur la temperature de petits animaux de laboratoire.— C. r. Acad. sci., **224**, 1662.
Seguin L., Castelain G. 1947б. Lésions anatomiques observés sur les animaux de laboratorie exposés a des ondes d'ultrahaute frequence (longueur d'onde 21 cm.).— C. r. Acad. sci., **224**, 1850.
Seguin L. et al. 1948. Augmentation de la vitesse d'extension de cultures de tissues iradiées par des micro-ondes (longueur d'onde 21 cm).— C. r. Acad. sci. **227**, 783.
Seguin L. et al. 1949. Action specifique des micro-ondes sur les cultures de tissues.— J. radiol. et electrol., **30**, 566.
Seipell H., Morrow R., 1960. The magnetic field accompanying neuronal activity of nervous system.— J. Wash. Acad. Sci., **50**, 1.
Shaw T, Windle J. 1950. Microwave techniques for the measurement of the dielectric constant of fibers and films of high polymers.— J. Appl. Phys., **21**, 956.
Sinci H., Michaelson S. 1954. EEG after radar application.— EEG and Clin. Neurophysiol., **6**, 535.
Soal S., Bateman F. 1954. Midern experiments in telepathy.New.Haven. Yale Univ. Press.
Szabo T. 1962. Spontaneous electrical activity of cutaneous receptors in mormyrids.— Nature. **194**, 600.
Tallarico R., Ketchum J. 1959. Effect of microwaves on certain behaviour pattern of the rat.— Proc. 3ᵈ Tri-Serv. Conf. an Biological effects of Microwave Energy. Rome, N. Y.
Tchijevsky A., [Чижевский]. 1940. Research on the electrical factor of atmospheric air maintaining the life of animals.— Ac. Colombina de Cienc. Exact. Fisicas y Naturales (Bogota), **4**, 182.
Teixeria-Pinto A. et al. 1960. The behaviour of unicellular organisms in an electromagnetic field.— Exper. Cell Res., **20**, 548.
Thomson P. 1910. A physiological effect of an alternating magnetic field.— Proc. Roy. Soc., **82**, 396.
Thomson R. et al. 1965. Modification of X-irradiation lethality in mice by microwaves (Radar).— Radiat. Res., **24**, 631.
Tomberg V. 1961. Specific thermal effects high-frequency fields.— In: Biological Effects of Microwave Radiation, v. 1, N. Y., Pleunm Press, p. 221.
Trabka J. 1963. High frequency components in brain wave activity.— EEG and Clin. Neurophysiol., **14**, 453.
Van Ummersen C. 1961. The effect of 2450 Mc radiation on the development of the chick embryo.— In' Biological Effects of Microwave Radiation, v. 1. N. Y., Plenum Press, p. 201.
Van Ummersen C., Cogan F. 1965. Experimental microwave cataracts.— Arch. Enviroum. Health, **11**, 177.
Valentinuzzi M. 1962. Theory of magnetophosphenes.— Amer. J. Med. Electronics, **1**. 112.
Valentinuzzi M. 1964. Rotational diffusion in a magnetic field and its possible magnetobiological implications.— In: Biological Effects of Magnetic fields. v. 1. N. Y.— Plenum Press, p. 63.
Valfre F. et al. 1964. La sensibilita di organismi animali alle variabili cosmiche. Prove elletuate con acqua normale e con acqua fisicamente attivata.— Geofis. Meteorol., **13**, 76.
Vendrik A., Vos J. 1958. Comparison of the stimulation of the warmth sense organ by microwave and infrared.— J. Appl. Physiol., **13**. 435.
Vogelhut P. 1960. Study of enzymatic activity under the influence of 3 cm electromagnetic radiation.— 3ᵈ Internat. Conf. Med. Electronics, p. 52.
Vogelman J. 1961. Microwave instrumentation for the measurement of biological effects.— In: Biological effects of microwave radiation, v. 1. N. Y., Plenum Press, p. 23.

Volkers W., Candib B. 1960. Detection analysis of high-frequency signals from muscular tissues with ultra-low-noise amplifiers.— IRE Int. Convent. Rec pt 9, 8, 116.
Wasserman G. 1956. An outline of a field theory of organismic form and behaviour.— In: Ciba Foundation Symposium on Extrasensory Perception. J. Churchill, London.
Watanabe A., Bullock P. 1960. Modulation of activity of one neuron by subthreshold slow potentials in anaslar in lobster cardiac ganglion.— J. Gen. Physiol., 43, 1031.
Webb H. et al. 1959. Effects of imposed electrostatic field on rate of locomotion in Ilyanassa.— Biol. Bull., 117, 430.
Webb H. et al. 1961. Organismic response to differences in weak horizontal electrostatic fields.— Biol. Bull., 121, 413.
Wildervank A. et al. 1959. Certain experimental observations on a pulsed diathermy machine.— Arch. Phys. Med., 40, 45.
Wiske C. 1963. Human sensitivity to electric fields.— In: Biomedical Science Instrumentation, v. 1. N. Y., Plenum Press, p. 467.
Wiley R. et al. 1964. Magnetic reactivation partially inhibited trypsin.— In: Biological Effects of Magnetic Fields, v. 1. N. Y., Plenum Press, p. 255.
Williams D. et al. 1956. Biological effects studies on microwave radiation. Time and power-thresholds for the production of lens opacities by 12,3 cm microwaves.— Trans. IRE Med. Electronics, PGME-4, 17.
Windle J., Shaw T. 1954. Dielectric properties of wool-water system at 3000 and 9300 Mc.— J. Chem. Phys., 22, 1752.
Windle J., Schow T. 1956. Dielectric properties of wool-water system at 26000 Mc.— J. Chem. Phys., 25, 435.
Yeagley H. 1947. A preliminary study of a physical basis of bird navigation. Part I.— J. Appl. Phys., 18, 1035.
Yeagley H. 1951. A preliminary study of a physical basis of bird navigation. Part II.— J. Appl. Phys., 22, 746.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Александр Самуилович Пресман

Электромагнитные поля и живая природа

Утверждено к печати
Научным советом
по комплексной проблеме «Кибернетика»
Академии наук СССР

Редактор *А. Б. Левина*
Редактор издательства *Э. А. Фролова*
Художник *К. М. Егоров*
Технический редактор *Т. В. Алексеева*

Сдано в набор 25/VIII 1967 г. Подписано к печати 4/I 1968 г.
Формат 60×90¹/₁₆. Бумага № 1. Усл. печ. л. 18. Уч.-изд. л. 19,1
Тираж 5000 экз. Т-01406. Тип. зак. 3378. Цена 1 р. 40 к.

Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография издательства «Наука».
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

ОПЕЧАТКИ И ИСПРАВЛЕНИЯ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
6	15 св.	«Радиобиология»	Радиобиология
20	15 сн.	$F\tau$	$\frac{1}{F\tau}$
52	В назв. табл. 5	*м*	*см*
75	18 сн.	$\sqrt{\frac{3v}{4\pi}}$	$\sqrt[3]{\frac{3v}{4\pi}}$
137	1 сн.	24 000 *Мгц*	10 000 *Мгц*
144	На рис. 56 В	I — верхняя кривая II — нижняя кривая	I — нижняя кривая II — верхняя кривая

А. С. Пресман